

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

**Studium změn vlastností sklokeramického povlaku
v kontaktu s biologickým prostředím**

Study of the Glass Ceramics Coatings in Contact with
Biological Environment

Student:

Jan Krejčíř

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.

Ostrava 2017



VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Zadání bakalářské práce

Student:

Jan Krejčíř

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

2303R002 Strojírenská technologie

Téma:

Studium změn vlastností sklokeramického povlaku v kontaktu s
biologickým prostředím
Study of Glass Ceramics Coatings in Contact with Biological
Environment

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Proved'te rozbor současného stavu použití sklokeramických povlaků v praxi.
2. Prostudujte výrobu a vlastnosti sklokeramických povlaků.
3. Prostudujte vliv biologického prostředí na vlastnosti sklokeramických povlaků.
4. Navrhněte metodiku experimentálních prací.
5. Proved'te experimentální práce a zpracujte technickou zprávu.

Seznam doporučené odborné literatury:

MOHYLA, M.: *Technologie povrchových úprav kovů*. Učební texty VŠB – TU Ostrava, 2006. 3. vydání. 156 s. ISBN 80-248-1217-7.

PODJUKLOVÁ, J., HRABOVSKÁ, K., BARČOVÁ, K., ŠTĚPÁNEK, I.: *Nové obzory v poznání vlastností sklokeramických smaltových povlaků*. VŠB – TU Ostrava, 2010. 135 s. ISBN 978-80-248-2339-3.

Vyhláška 38/2001 Sb., 186/2003 Sb., Vyhláška Ministerstva zdravotnictví o hygienických požadavcích na výrobky určené pro styk s potravinami a pokrmami.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.**

Datum zadání: 09.12.2016

Datum odevzdání: 15.05.2017

Ing. Lucie Krejčí, Ph.D.
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty



Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 17.5.2017

.....

podpis studenta



Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, же Высoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé kvalifikační práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, же odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 17.5.2017

Jan Krejčíř

Jan Krejčíř

Libina 571

788 05 Libina



ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

KREJČÍŘ, J. Studium změn vlastností sklokeramického povlaku v kontaktu s biologickým prostředím: bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2017, 4646 s., vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.

Bakalářská práce se zabývá studiem změn vlastností sklokeramického povlaku v kontaktu s biologickým prostředím. V první části pojednává o vlastnostech, použití a technologii výroby. Ve druhé části se věnuje experimentálním pracím. Část je věnována kontaktu smaltů s biologickým prostředím. Biologickým prostředím se stal fyziologický roztok NaCl, který působil na vzorky v korozní komoře v prostředí C5 po dobu 360 hodin (15 dní). Tato doba odpovídá cca 5ti rokům ve skutečné atmosféře. Výsledky experimentálních prací jsou zapsány do přehledných tabulek a grafů a následně vyhodnoceny.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

KREJČÍŘ, J. Study of Glass Ceramics Coatings in Contact with Biological Environment: Ostrava: VŠB-Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2017, 118s., Advisor bachelor thesis: doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.

The bachelor thesis deals with the study of changes in the properties of the glass ceramic coating in contact with the biological environment. The first part deals with the features, use and production technology. The second part deals with experimental works. Part is dedicated to enamel contact with the biological environment. The biological medium was physiological NaCl solution, which was applied to samples in a corrosion chamber in C5 medium for 360 hours (15 days). This is about five years in a real atmosphere. The results of the experimental work are recorded in the tables and graphs and then evaluated.



Seznam použitých značek a symbolů

Veličina	Popis
SiO ₂	oxid křemičitý
Al ₂ O ₃	oxid hlinitý
TiO ₂	oxid titaničitý
ZrO ₂	oxid zirkoničitý
Na ₂ O	oxid sodný
CaO	oxid vápenatý
LiO ₂	oxid litia
PbO	oxid olovnatý
CeO ₂	oxid ceričitý
Ra	střední aritmetická úchylka [μm]
Rz	největší výška profilu [μm]
pH	stupnice kyselosti a zásaditosti
N	jednotka síly
ČSN	česká státní norma
EN	evropská norma
ISO	mezinárodní norma
MPa	jednotka tlaku
W.m ⁻¹ .K ⁻¹	jednotka tepelné vodivosti



Obsah

1	Úvod.....	10
2	Současný stav použití sklokeramických povlaků	11
3	Vlastnosti sklokeramických povlaků.....	11
3.1.	Definice smaltů.....	11
3.2.	Druhy smaltových povlaků	12
3.2.1.	Základní smalty	12
3.2.2.	Krycí smalty	12
3.2.3.	Jednovrstvé (přímé) smalty	13
3.2.4.	Smalty na ocelový plech	13
3.2.5.	Smalty pro šedou litinu	13
3.2.6.	Smalty na neželezné kovy	13
3.2.	Fyzikální vlastnosti smaltů.....	14
3.3.	Korozní vlastnosti smaltů.....	14
3.4.	Tepelné vlastnosti smaltů.....	15
3.5.	Mechanické vlastnosti smaltů	15
3.6.	Chemické vlastnosti smaltů.....	16
3.6.1.	Smalty pro běžné spotřební zboží	16
3.6.2.	Smalty se střední chemickou odolností.....	16
3.6.3.	Smalty s vysokou chemickou odolností.....	16
3.6.4.	Zdravotní nezávadnost smaltů.....	16
4	Výroba a technologický postup smaltování	17
4.1.	Předúprava povrchu	17
4.2.	Příprava smaltéřské suspenze.....	18
4.3.	Nanášení smaltu	19
4.3.1.	Nanášení smaltového povlaku za mokra	19
4.3.2.	Nanášení smaltového povlaku za sucha	19
4.4.	Sušení smaltu	20



4.4.1. Sušení na volném vzduchu	20
4.4.2. Sušení v sušárnách	20
4.5. Vypalování smaltů	21
5 Charakteristika podkladového kovu pro smaltování	22
5.1. Ocelový plech pro smaltování.....	22
5.1.2. Vliv jednotlivých prvků na smaltovatelnost ocelí.....	22
5.2. Litina	23
5.3. Hliník a jeho slitiny	23
6 Smalty v kontaktu s biologickým prostředím.....	23
6.1. Inertní biokeramika	24
6.2. Resorbovatelná biokeramika	24
6.3. Bioaktivní materiály.....	24
6.4. Smalty v kontaktu s atmosférou	27
7 Metodika experimentálních prací.....	27
8 Provedení experimentálních prací.....	27
8.1. Příprava vzorků	27
8.2. Určení odstínů barev smaltů na vzorcích	28
8.3. Měření tloušťky smaltů	29
8.4. Měření drsnosti smaltů	30
8.5. Zkouška odolnosti smaltů proti mechanickým nárazům	30
8.6. Korozní zkouška v umělé atmosféře	31
8.7. Mikroskopická analýza povrchu	31
9 Vyhodnocení experimentálních prací.....	32
9.1. Určení odstínů barev na smaltech	32
9.1.1. Před korozní zkouškou	32
9.1.2. Po korozní zkoušce	33
9.1.3. Vyhodnocení	33
9.2. Měření tloušťky smaltů	33
9.2.1. Naměřené hodnoty před korozní zkouškou.....	34



9.2.2. Naměřené hodnoty po korozní zkoušce	35
9.2.3. Vyhodnocení měření tloušťky smaltů	36
9.3. Měření drsnosti smaltů	39
9.3.1. Naměřené hodnoty před korozní zkouškou.....	39
9.3.2. Naměřené hodnoty po korozní zkoušce	41
9.2.3. Vyhodnocení měření drsnosti smaltů	43
9.4 . Zkouška odolnosti smaltu proti mechanickým nárazům prováděná nastřelováním.....	44
9.4.1. Vyhodnocení zkoušky odolnosti před korozní zkouškou.....	44
9.4.2. Vyhodnocení zkoušky odolnosti po korozní zkoušce	49
9.5 . Vizuální zhodnocení vzorků po korozní zkoušce	55
9.6 . Mikroskopická analýza povrchu	62
9.6.1. Mikroskopická analýza hrany	62
9.6.2. Mikroskopická analýza vrstev smaltu	64
10 Závěr	68
Seznam použité literatury.....	69



1 Úvod

Smaltování je jednou z nejstarších technologií povlakování, používaná již od dob starověkých zemí na Dálném východě (Čína, Japonsko), ale i v zemích jako starověký Egypt nebo Indie. Tato technologie se využívala zejména v oblasti umění (výroba a zdobení šperků, zdobení obrazů), ale také k výrobě spotřebního zboží. Výrazný zlom v použití smaltů nastal v době Byzantské říše, kde se využívaly k zalévání reliéfů, které byly vytepané z kovů. V tomto období se používání smaltů dostalo i od Evropy. Nejstarší dokázané použití smaltů u nás je na českých korunovačních klenotech. Smaltování železa se datuje od počátku 19. století.

Základními surovinami pro vytvoření sklovitého smaltového povlaku jsou sklo, keramika a skelné krystalické látky. Tyto suroviny představují velmi širokou oblast materiálů, které se liší svým složením, ale také způsobem výroby a vlastnostmi. Všechno to jsou anorganické nekovové materiály většinou na bázi silikátů. Mezi jejich vlastnosti patří dobrá chemická odolnost (odolnost proti korozi v organických kyselinách), malá tepelná vodivost, vysoká tvrdost a pevnost v tlak, ale také odolnost proti creepu (tečení) za vysokých teplot nebo odolnost proti otěru. Oproti tomu jsou křehké, mají nižší pevnost v tahu a špatně snášejí prudší změny teplot. Velká nevýhoda smaltů spočívá ve vysoké pracnosti výroby, v náročnosti dodržování předepsané technologie výroby a ve vysoké energetické náročnosti. I přes všechna tato úskalí je použití smaltů velice výhodné.

Tyto materiály se pro jejich vlastnosti používaly většinou jen tam, kde byly rozhodující vlastnosti jako elektrický odpor nebo chemická odolnost. Mechanické namáhání bylo až na druhém místě.

Dosažení spojení dvou různých materiálů, kterými jsou kov a smalt, je vytvoření dokonalého integrovaného systému kov-sklovitý smaltový povlak. Především jde o dobrou přidržnost povlaku ke kovu a celkovou odolnost na vznik vad v povlaku. Proto je nutností řešit řadu problémů z oblasti fyzikálně-chemických procesů umožňujících spojení mezi kovem a sklovitým smaltovým povlakem.

2 Současný stav použití sklokeramických povlaků

V současné době se, s celosvětovou snahou omezit spotřebu kovů a energie, klade větší důraz na prodloužení životnosti a zvýšení funkčnosti kovových výrobků. Z důvodu vysokého nárůstu průmyslových odvětví se zvětšuje i míra znečištění atmosféry. To vede ke zvýšenému koroznímu namáhání průmyslových výrobků, strojů a zařízení. Všeobecně ubývá tradičních surovin, např. ušlechtilých kovů pro výrobu legovaných ocelí a speciálních slitin, tím se snižuje možnost výroby korozivzdorných (nerezových) ocelí. Tyto oceli jsou nezbytnou součástí zejména pro energetické a ekologické strojírenství a pro automobilový průmysl. To vše vytváří potřebu a prostor pro mnohem širší uplatňování skla a keramiky než doposud, a to i v případech, kdy nelze zanedbat mechanické namáhání. Patří sem sklovité a sklokeramické povlaky, které jsou jedny z nejúčinnějších antikorozních úprav.

Stabilitou těchto povlaků v atmosférických podmínkách a dobrými absorpčními schopnostmi vůči slunečnímu záření je podmíněno využití při konstrukci slunečních konektorů. Konstrukční materiály pracují rovněž v podmínkách vysokoteplotní koroze, např. jako součástí topenišť, kotlů, pecí, spalovacích motorů, spalovacích turbín, apod. V těchto případech poskytují sklovité smaltové povlaky dostatečnou protikorozní ochranu kovových materiálů. Specifickou možností využití sklovitých a sklokeramických povlaků je využití v oblasti medicíny. Konkrétně v zubním lékařství při metalokeramice. Metalokeramika je technologie, kdy se zubní kovová náhrada pokryje vrstvou tavené dentální keramiky. [2]

3 Vlastnosti sklokeramických povlaků

3.1. Definice smaltů

Definic pro sklokeramický (smaltový) povlak je více. Jedna z těchto definic zní takto:

„Smalt je sklovitě utuhlá hmota anorganického oxidického složení, která se dá natavit v jedné nebo více vrstvách na kovový předmět.“[1]

3.2. Druhy smaltových povlaků

Vlastnosti smaltových povlaků ovlivňuje chemické složení smaltéřské frity, která je jednou ze základních složek pro výrobu smaltových povlaků. Smalty se dělí podle základního složení a druhu kovu na:

- smalty na ocelový plech
- smalty na šedou litinu
- smalty na neželezné kovy

V současné době mezi nejpoužívanější smalty patří právě smalty na ocelové plechy a na šedou litinu. Sklovité smaltové povlaky dělíme podle funkce na základní krycí a jednovrstvé.

3.2.1. Základní smalty

Základním znakem těchto smaltů je mezi smaltovaným funkčním povlakem a kovem vytvoření přídržné vrstvy. Tyto smalty jsou připravovány na bázi přídržných oxidů CoO a NiO. Po nanesení a vypálení základního smaltu je na řadě nanesení smaltu krycího, ten je znova vypálen. U základního smaltu je vypalovací teplota vyšší o cca 20 – 40°C než u smaltu krycího. Tloušťka vrstvy má být u sklovitého smaltového povlaku po vypálení co nejmenší. Ta se pohybuje v rozmezí od 80 do 120 μm . [2]

3.2.2. Krycí smalty

Krycí smalt je oproti základnímu smaltu funkčním povlakem. Je nositelem požadovaných vlastností povlaku. Tyto smalty se dělí podle typu použití frity, a sice na smalty zakalené (bílé nebo barevné), smalty polotransparentní (polozakalené) a smalty transparentní. [2]

Při procesu úpravy frit ve smaltovně se do zakalených smaltů nepřidávají kalící nebo barvící přísady. Na rozdíl od polotransparentních, kde se při mletí provádí částečná úprava. Optické vlastnosti transparentních smaltů se upravují přísadami na mlýně, např. přidávkem barvicích oxidů. [1]

3.2.3. Jednovrstvé (přímé) smalty

Složení frity speciálního typu smaltu je upraveno tak, aby byla při nanášení na ocelový plech zajištěna požadovaná přídržnost ke kovu. Zároveň musí funkční vlastnosti odpovídat požadavkům na povlak. Tento smalt má současně fyzikální a chemické vlastnosti základního a krycího smaltu. [2]

3.2.4. Smalty na ocelový plech

Běžnou technologií smaltování ocelí je nanášení dvouvrstvého systému, tzv. základního smaltu a krycího smaltu. Mezi velmi efektivní technologií patří jednovrstvé smaltování, u tohoto postupu je funkční smalt přizpůsoben pro přímé natavení na kov. Zajišťuje se tím zvýšení hospodárnosti, snížení energie a spotřeby materiálu. V některých případech se dokonce jedná i o zlepšení funkčních vlastností. [3]

3.2.5. Smalty pro šedou litinu

U této technologie se využívá schopností smaltového povlaku zaplňovat nerovnosti povrchu vzniklé mechanickým otryskáváním. Ve smaltech na litinu není z důvodu dobré adheze nutné použití přídržných oxidů. Aby se dosáhlo celistvých a hladkých povlaků, tak se ve srovnání se smalty na ocel nanáší větší tloušťka nánosu. Smalty na litinu se připravují slinováním nebo tavením. Smalty na litinu jsou z chemického hlediska jednodušší než smalty na ocelové plechy. Teplota vypalování se pohybuje v rozmezí od 700 do 900°C. K dosažení hladkého a vysoce celistvého povlaku se v minulých letech používaly olověné smalty. Dnes je jejich použití za zdravotních a hygienických důvodů ne přípustné. [3]

3.2.6. Smalty na neželezné kovy

Mezi nejčastější materiály, které se smaltují, patří hliník a jeho slitiny. Z důvodu velkého koeficientu teplotní roztažnosti hliníku volíme složení smaltů tak, aby se u povlaku dosahovalo podstatně vyšších koeficientů teplotní roztažnosti a nižších teplot vypalování než u smaltů na ocel se zřetelem na bod tání hliníku. Zmenšuje se tím do jisté míry chemická odolnost, poněvadž obsah sklotvorných oxidů, zejména SiO_2 , nesmí být velký.

Vypalovací teplota smaltů na hliník se pohybuje v rozmezí od 500 do 550°C a tloušťka nánosu bývá do 100 μm . existují i speciální typy smaltů na hliník, mezi které patří povlaky na hliníkem metalizovanou ocel. U tohoto typu je hodnota koeficientu teplotní roztažnosti menší než u smaltů na hliník. Vypalovací teplota se pohybuje v rozmezí od 650 do 700°C. [2]

3.2. Fyzikální vlastnosti smaltů

Fyzikální vlastnosti smaltů vyplívají z vlastností jednotlivých složek. Musíme ovšem vzít v úvahu fakt, že mezi fyzikálními vlastnostmi smaltu samotného a vlastnostmi sklovitého smaltového povlaku je nepřímá závislost. Tím dochází z důvodu tepelného zpracování povlaku k vzájemnému působení podkladového kovu a nataveného smaltu, čímž se mění chemické složení, struktura a tím i vlastnosti smaltu. Jedná se zejména o fáze, jež jsou navzájem v přímém kontaktu, a sice o vznikající adhezní mezivrstvu. [2]

Fyzikální vlastnosti:

- celistvost smaltového povlaku
- přídržnost smaltu ke kovu
- mechanické vlastnosti
- termické vlastnosti
- optické vlastnosti
- elektrické vlastnosti

3.3. Korozní vlastnosti smaltů

Vysoká protikorozní odolnost je hlavní doménou smaltových povlaků. Tato vlastnost platí v prostředí jak organických, tak i anorganických kyselin a jejich solí v širokém rozsahu koncentrací a teplot. Výjimkou jsou však kyselina fluorovodíková a fluoridy. Oproti kovům jsou důsledkem korozního napadení sklovitých smaltových povlaků výhradně chemické procesy, při kterých dochází k jejich rozpouštění nebo vyluhování. Na kyselinovzdornost mají vliv oxidy: SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , ZrO_2 , CeO_2 , Li_2O . Na rozdíl od oxidů Na_2O , PbO , CaO , které kyselinovzdornost značně snižují. Alkalické roztoky štěpící síť SiO_4 velmi silně napadají smalty. To má za důsledek, že sklo přechází do roztoku.

Odolnost sklovitých smaltových povlaků proti vodě závisí na rychlosti reakce. Při této reakci dochází k výměně iontů alkalických kovů Me^+ a H^+ . Povlaky, které obsahují ve sklovité matici určitý podíl krystalické fáze, dosahují výrazně vyšší korozní odolnosti. Dobrou odolnost smalty vykazují i proti tzv. nízkoteplotní korozi (spaliny okolo teploty rosného bodu). Dále disponují vysokou odolností v prostředí horkých plynů vč. plynných halogenů. Dobrou chemickou odolnost i velkou stabilitu barev má smalt také v agresivních atmosférách, umožňuje i snadné čištění. [2]

3.4. Tepelné vlastnosti smaltů

Jednou z tepelných vlastností je u sklovitých smaltových povlaků tepelná vodivost. Ta se při teplotě 313 K pohybuje v rozmezí od 0,093 do 0,114 $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ a značně závisí na množství pórů v povlaku. Z důvodu tloušťky smaltu, která je relativně malá v poměru k tloušťce kovu, neovlivňuje smalt příliš prostup tepla stěnou. Důležitá vlastnost je také tepelná roztažnost smaltu. Tahle vlastnost má vliv na napěťové stavy mezi povlakem a kovem a na deformaci konečných výrobků. Teplotní roztažnost smaltu musí být nižší než teplotní roztažnost podkladového kovu, vyloučí se tím tahové napětí v sklovitém smaltovém povlaku. Další vlastností je tepelná odolnost. Smalty snášejí dlouhodobě teploty v rozmezí od 400 do 500°C. existují i speciální druhy žárupevných smaltů, které odolávají teplotám až do 1000°C. Tyto smalty mají velmi malý obsah modifikátorů a velký obsah žárupevných oxidů (ZrO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Cr_2O_3). [2]

3.5. Mechanické vlastnosti smaltů

Mezi hlavní mechanické vlastnosti sklokeramických smaltových povlaků patří jejich nízká úroveň lomové houževnatosti. Mez pevnosti v tahu se u těchto povlaků pohybuje v rozmezí od 70 do 90 MPa a pevnost v tlaku v rozsahu od 700 do 1300 MPa. Z tohoto hlediska je nutné brát už při navrhování složení kmene v úvahu nejen prostředí, ve kterém bude smaltový povlak pracovat, ale také podkladový materiál vč. jeho vlastností, na který bude povlak nanášen.

V keramických materiálech dochází ke snadnému šíření trhlin. Důvodem tohoto jevu je malá pohyblivost nebo manévrovatelnost dislokací. Další vliv na vznik trhlin má vnitřní pnutí, které působí rozdílností tepelné roztažnosti. [2].

Základní mechanické vlastnosti:

- hustota
- tloušťka povlaku
- pevnost v tahu a tlaku
- pružnost
- odolnost proti mechanickému nárazu
- mechanické napětí v systému kov-smalt
- tvrdost smaltu
- odolnost proti abrazi [3]

3.6. Chemické vlastnosti smaltů

Chemické vlastnosti smaltů rozdělujeme na:

- smaltové povlaky pro běžné spotřební zboží
- smaltové povlaky se střední chemickou odolností
- smaltové povlaky s velkou chemickou odolností

3.6.1. Smalty pro běžné spotřební zboží

Tyto povlaky odolávají méně agresivnímu prostředí pouze krátkodobě. Vhodné jsou pro použití do teploty max. 400°C. Tloušťka povlaku se pohybuje v rozmezí od 50 do 400 µm. Jejich nejčastější využití je pro smaltování výrobků v domácnostech, např.: ledničky, kamna, obklady interiérů. [3]

3.6.2. Smalty se střední chemickou odolností

Vlastností těchto smaltů je jejich odolnost proti působení organických i anorganických kyselin. Tloušťka povlaku je v rozmezí od 100 do 500 µm. Využívají se především k povlakování potravinářských zařízení, např.: varné nádoby. [3]

3.6.3. Smalty s vysokou chemickou odolností

Smaltové povlaky s vysokou chemickou odolností mají vysoký obsah SiO₂, a proto jsou určeny k ochraně zařízení, kde dochází k nízkoteplotní korozi. Dokáží odolat organickým a anorganickým kyselinám až do teploty 350°C. Tloušťka povlaku se pohybuje v rozmezí od 400 do 1000 µm. [3]

3.6.4. Zdravotní nezávadnost smaltů

Sklovité smaltové povlaky, které jsou v kontaktu s pitnou vodou, potravinami nebo krmivy musí být zdravotně nezávadné. Norma stanovující přípustnou hranici povoleného množství prvků, které jsou zdraví škodlivé, se označuje ČSN 94 5050. Maximální povolené množství zdraví škodlivých prvků na 1 dm²:

- zinek – 0,80 mg
- olovo – 0,03 mg



- baryum – 0,25 mg
- arsen – 0,015 mg
- kadmium – 0,005 mg
- antimon – 0,200 mg [3]

4 Výroba a technologický postup smaltování

Smaltováním se zhotovuje smaltový povlak na podkladový materiál. Z důvodu značně rozdílných vlastností kovu a sklovitého povlaku je tento proces celkem složitý. Jedná se o povrchovou úpravu tepelnou. U této technologie musíme uvážit i rozdílný průběh teplotních závislostí změn fyzikálních a chemických vlastností obou fází systému kov-smalt.

Pro smaltování jsou typické jednotlivé operace, které na sebe navazují. Výsledkem takto seřazených operací je pevné spojení dvou fází systému na příslušném podkladovém materiálu. [3]

4.1. Předúprava povrchu

Při výrobě smaltových povlaků je velice důležitou částí předúprava povrchu. Účelem této předúpravy je odstranění nečistot, jako jsou tuky, oleje, minerální látky, okuje, apod. Odstraněním těchto nečistot se zvyšuje protikorozi ochrana materiálu, která bývá vyšší než u jiných metod povlakování.

Povrchové předúpravy dělíme na chemické a mechanické. Existují však i tepelně mechanické a tepelně chemické, ty se však používají vzhledem k vysokým energetickým nárokům zřídka.

Mezi chemické povrchové úpravy patří:

- odmašťování
- moření
- niklování
- neutralizace s pasivací

Odmašťováním se povrch zabavuje mastnot olejových nečistot a tuků. Ve většině případů se jedná o zbytky konzervačních olejů na površích plechů, které se používají při lisování výrobků. Odmaštění povrchu nám zajišťuje zvýšení přilnavosti k povlakům a nátěrovým systémům.



K odmašťování se používají alkalické vodné roztoky. z důvodu časové náročnosti je odmaštění velice náročnou operací. Na druhou stranu je ale z celého chemického procesu nejdůležitější.

Odmašťování dělíme podle použitého prostředku na odmašťování:

- v alkalických roztocích
- v organických rozpouštědlech
- elektrolytickým odmašťováním
- v neutrálních roztocích
- emulzním odmašťováním
- opalováním
- vysokotlaké kapalinné odmašťování

Mechanické úpravy povrchu kovu zajišťují odstranění nečistot. Mezi tyto nečistoty patří hlavně okuje, rzi a případně mastnoty v menším rozsahu. Všechny tyto nečistoty jsou k povrchu vázány mechanicky. Základním způsobem mechanické úpravy povrchu je otryskávání. Je to technologie, při které je tryskací materiál (křemičitý písek, litinová drť, brusiva, sekaný drát, apod.) vrhán vysokou rychlostí proti povrchu materiálu. [3]

4.2. Příprava smaltéřské suspenze

Z fyzikálního hlediska je smaltéřská suspenze neboli břecha brána za heterogenní mnohosložkový systém tuhých částic rozptýlených ve vodě. Při výrobě smaltéřské břechy využíváme několik surovin. Tyto suroviny jsou po semletí nositeli jejich vlastností, které nám musí umožnit vytvoření rovnoměrné vrstvy suspenze na povrchu materiálu. Po vysušení a vypálení suspenzní vrstvy vzniká smaltový povlak. Tento povlak má požadované vlastnosti.

Hlavní surovinou pro přípravu smaltéřské suspenze je smaltéřská frit. Dalšími složkami, jež se při vypalovacím procesu tvorby sklovité vrstvy účastní a rozhodují o jejich vlastnostech, jsou barvítka, mletý křemen, kaliva a další přísady. Mezi rozhodující dispergované složky při přípravě suspenze patří jíly a bentoniny. Disperzním prostředím je voda. Ostatní látky používáme podle typu smaltu a zvolené metody jejich nanášení. [3]

Suroviny pro výrobu smaltů:

Jíl – plastická zemina, přísada která rozemleté částice frity udržuje v suspenzním tvaru a zabraňuje její sedimentaci. Jíl se používá při technologii nanášení za mokra.



Skla – amorfni, pevné, anorganické látky. Většina jich je tvořena SiO_2 a dalšími oxidy. Od krystalických látek se liší tím, že jejich fyzikální vlastnosti se mění v závislosti na teplotě a jejich struktura není tvořena pravidelnou mřížkou.

Keramika – pevné anorganické nekovové polykrystalické látky, které se připravují technologií slinování práškových surovin za vysokých teplot. K výrobě se používají jemné plastické zeminy, jako je kaolín a různé jíly.

Voda – jedna ze složek smaltéřské břechky. Při mletí smaltéřské frity spolu s vodou a jílem dochází k zahájení fyzikálně chemických reakcí. Tyto reakce pokračují až do doby nanesení a vysušení smaltéřské frity. Obsah vody se po semletí pohybuje v rozmezí od 30 do 45% a podle toho dochází ke změnám kvality sklovitého smaltového povlaku. [2]

4.3. Nanášení smaltu

4.3.1. Nanášení smaltového povlaku za mokra

Při technologii smaltování za mokra se nanáší smaltéřská suspenze, která má odlišné chemické složení než smaltový povlak. Po vysušení nanesené suspenze vzniká vrstva biskvitu, která po vypálení vytvoří vrstvu smaltu. [3]

Metody nanášení smaltového povlaku, dělíme podle mechanismu vyvážení vrstvy na:

- metodu stékací
- metodu stříkací
- metodu elektroforetickou

4.3.2. Nanášení smaltového povlaku za sucha

Technologie nanášení suchým procesem se používá při smaltování litinových výrobků. Tento způsob nanášení je typický velkou spotřebou energie a smaltu. Velmi náročná je mechanizace a automatizace procesu. K novým způsobům smaltování za sucha patří nanášení prášků v elektrickém poli.

Nanášení smaltového povlaku, dle charakteristiky děje dělíme na:

- nanášení za tepla
- nanášení za studena

Mezi nanášení za tepla patří pudrování posypem a pudrování fluidací, kde se výrobky přehřívají na teplotu 900 °C. Při této teplotě dochází k natavení částic prášku smaltu, které se v kapalně fázi spojí. Nanášení prášku za studena vychází z využití elektrického pole. V tomto případě dojde k nánosu vrstvy prášky pomocí klasického stříkání. Výhodou této metody nanášení je vznik kvalitního povlaku a nízká spotřeba smaltovacích materiálů. [3]

4.4. Sušení smaltu

Veškeré smalty, které byly nanесeny mokrým způsobem, se musí před procesem vypalování vysušit. Sušení odstraňuje z nanесené vrstvy vodu, která by mohla způsobit narušení vrstvy při vypalování. Z celkové hmotnosti suspenze je podíl vody min. 30%. Operace sušení má následovat ihned po nanесení suspenze, ačkoli se tato operace v procesu smaltování často podceňuje. Následná struktura sušené vrstvy ovlivňuje teplotu a rychlost sušení. [3]

Sušení smaltů rozdělujeme na:

- sušení na volném vzduchu
- sušení v sušárnách

4.4.1. Sušení na volném vzduchu

Tento způsob sušení je jedním z nejstarších které známe. V současné době se sušení na volném vzduchu používá v souvislosti s úsporami energie. Metoda sušení na volném vzduchu se používá, jsou-li k dispozici tzv. kapacitní dopravníky schopné uskladnit produkci jedné směny a pokud je možnost vypalování smaltů v noční směně. Pro snížení rizika výskytu koroze se jako předúprava na povrchu kovu vytváří niklová vrstva. Sušení se pohybuje v časovém intervalu od 6 do 8 hodin. [3]

4.4.2. Sušení v sušárnách

Sušárny existují dva druhy. Jedny jsou sušárny konvenční s ohřevem teplým vzduchem, kde se teplota vzduchu pohybuje v rozmezí od 60 do 130 °C a doba sušení potom od 15 do 20 minut. Druhé jsou sušárny radiační, které mají přenos tepla zabezpečen infračerveným zářením a doba sušení se pohybuje v rozmezí od 3 do 5 minut. [3]

Další rozdělení je z hlediska konstrukce sušícího prostoru a mezioperační manipulace.



Sušárny jsou řešeny jako:

- komorové
- tunelové vratné a vertikální
- tunelové s přímou dráhou

4.5. Vypalování smaltů

Vypalovací je proces je závěrečnou operací smaltování, jehož výsledkem je vytvoření sklovitého povlaku na kovovém podkladu. Z fyzikálně-chemického hlediska je vypalování velice složitý proces. „Při vypalování smaltů základních smaltů jsou rozhodující reakce, jejichž výsledkem je pevné spojení obou fází. Vypalování krycího smaltu má vést k vytvoření smaltového povlaku požadovaných funkčních a estetických vlastností. Tyto děje probíhají při teplotách od 740 do 900 °C.“ [3]

Základní veličiny definující vypalování smaltů jsou:

- vypalovací teplota
- vypalovací doba
- vypalovací interval

Vypalovací teplota – určuje minimální teplotu, při které se všechny reakce související s vytvořením smaltového povlaku o požadovaných vlastnostech ukončí.

Vypalovací doba - nejkratší časový interval, který všechny reakce související s vytvořením požadovaného smaltového povlaku při určené vypalovací teplotě ukončí.

Vypalovací interval – je dán maximálním rozptylem teplot, při kterých docílíme požadovaných vlastností povlaku.

Vypalovací pece

Dělíme dle konstrukce na pece:

- vsázkové
- kontinuální



Dále dělíme pece podle paliva resp. energie na pece plynové, elektrické a olejové. Při výběru vypalovacích pecí jsou velmi důležitými požadavky jejich výrobní kapacita, velikost a tvar výrobku, skladba výrobního sortimentu a typ smaltů. [3]

5 Charakteristika podkladového kovu pro smaltování

5.1. Ocelový plech pro smaltování

K docílení kvalitního souvislého sklovitého smaltového povlaku musí ocel vhodná ke smaltování splňovat několik základních podmínek. Veškerá nestejnorodost mění podmínky vzájemného působení mezi kovem a smaltem v procesu vypalování a je příčinou defektů v konečném povlaku. Mezi tyto defekty patří vady typu „rybí šupina“. Rybí šupina se projevuje tak, že se vrstvy smaltu odprýskávají v podobě malých šupinek. Tím vznikají prohlubně, které jsou na jedné straně skoro rovné a na druhé půlkruhové. Ocelový plech vhodný ke smaltování musí obsahovat minimální množství nežádoucích příměsí, nekovových vměstků a plynů.

Smaltovatelné oceli se řadí k ocelím podeutektoidním nízkouhlíkovým. Obsah uhlíku by neměl překročit hodnotu 0,1 %. V současnosti se podle nového vývojového trendu obsah uhlíku pohybuje okolo 0,04 % a existují již i zkušební tavby s obsahem 0,008 %C. S rostoucím obsahem uhlíku se snižuje teplota přeměny železa a tím se zvyšuje nejen rozpustnost vodíku v železe, ale dochází také k výraznějším změnám objemu během vypalovacího a ochlazovacího procesu. To má velký vliv na deformaci plechu a výrobků. [2]

5.1.2. Vliv jednotlivých prvků na smaltovatelnost ocelí

- **Mangan** – nad 0,2 % zhoršuje mořitelnost a při vysokých teplotách snižuje rychlost oxidace
- **Síra** – při překročení hranice 0,03 % až 0,04 % zachycují sulfidy vodík, který je ve smaltu zdrojem vad
- **Fosfor** - není škodlivý do 0,3 % až 0,4 %, zvyšuje teplotu A_3 a zároveň snižuje deformaci při vypalování
- **Měď** – snižuje mořitelnost a nad 0,1 % zvyšuje přesycení železa vodíkem a náchylnost na tvorbu šupin



- **Hliník** – zvyšuje odolnost proti stárnutí oceli, zjemňuje zrno, zlepšuje tvárnost a tažnost oceli, přípustný obsah hliníku se udává od 0,003 do 0,01 %
- **Titan** – váže uhlíky ve formě TiC, tím snižuje citlivost oceli při teplotách vypalování k tepelnému zpracování. Váže vodík na hybridy. Snižuje náchylnost na tvorbu rybích šupin.
- **Chrom** – pasivuje ocel do 0,3 % až 0,5 %. Nad 0,5 % činí při smaltování potíže.
- **Nikl** – příznivě ovlivňuje smaltovatelnost oceli z hlediska tvorby rybích šupin [2]

5.2. Litina

Ke smaltování se používá převážně šedá litina s převážně perlitickou strukturou. Tato litina se v průběhu tepelného zpracování mění na feritickou strukturu s rovnoměrně rozděleným lamelárním grafitem. Pakliže k této změně nedojde, tak dochází k intenzivní oxidaci, která má nepříznivý vliv na kvalitu a přídržnost sklovitého smaltového povlaku. [4]

5.3. Hliník a jeho slitiny

Hliník vhodný ke smaltování má min. 99,5 % čistoty. Předúprava hliníkového plechu se provádí chemicky a sice v roztoku hydroxidů alkalických kovů odmašťováním a mořením nebo fosfátováním. Podobným způsobem se smaltují plechy se slitin hliníku a manganu. Teplota natavení smaltu je z důvodu nízkého bodu tání hliníku v rozmezí od 500 °C do 660°C. [4]

6 Smalty v kontaktu s biologickým prostředím

V 70. letech vyvinul L. L. Henche povrchově bioaktivní skla na sodovápenatokřemičité bázi s přídavkem oxidu fosforečného. Tato skla se mohou v určitém rozsahu složení chemicky vázat nejenom na kostní tkáň, ale dokonce vytvářejí vazbu s tkání měkkou.

Keramika, která se dobře snáší s živou tkání se nazývá biotolerantní.

Biokeramiku rozlišujeme na:

- inertní biokeramiku
- resorbovatelnou biokeramiku



- bioaktivní materiály [5]

Bioaktivita je schopnost materiálu tvořit pevnou vazbu s živou tkání.

6.1. Inertní biokeramika

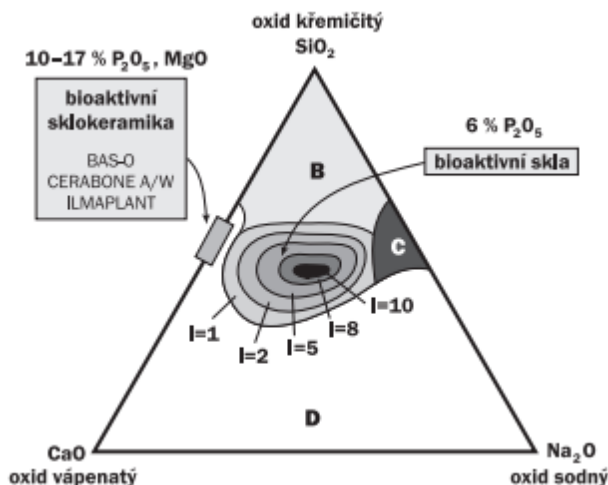
Nejčastější inertní biokeramikou se kterou se můžeme setkat je korundová nebo na bázi oxidu zirkoničitého. Tyto materiály kostní tkáň snáší. Kostní trámec se z implantáty nespojí chemickou vazbou. Kostní buňky osidlují povrch, a jedná-li se o porézní keramiku, vzniká nově vytvořená kost na omezenou vzdálenost do pórů. Ve většině případů se za nějaký čas vytvoří kolem implantátu vazivové pouzdro.

6.2. Resorbovatelná biokeramika

Vyrábí se nejčastěji na bázi vápenatých solí jako jsou např.: fosforečnany, uhličitany nebo sírany. Tyto materiály slouží jako dočasná náhrada kosti. Dochází-li k obnovování kostní tkáně, tak se implantovaný materiál postupně vstřebává.

6.3. Bioaktivní materiály

Mezi bioaktivní materiály patří např.: hutný hydroxyapatit, bioaktivní skla, bioaktivní sklokeramika či bioaktivní kompozity. Tyto materiály mají schopnost vytvářet pevnou chemickou vazbu s živou kostní tkání přímo, nikoliv prostřednictvím vaziva. Nevýhodou bioaktivních skel je jejich mechanická pevnost, z tohoto důvodu se příliš nehodí pro klinické využití. Naopak bioaktivní sklokeramika na bázi apatitu a wallastonitu má vynikající mechanické vlastnosti, které jsou vhodné k uplatnění např.: v ortopedii, neurochirurgii nebo čelistní a obličejové chirurgie. [5]



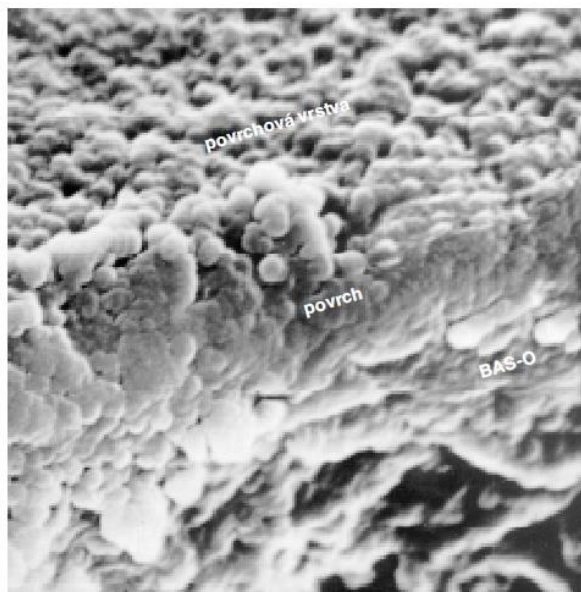
Obr. č. 1 - Index bioaktivity v závislosti na složení skel v systému oxid křemičitý, oxid sodný a oxid vápenatý [5]

Na **Obr. č. 1** můžeme vidět index bioaktivity v závislosti na složení skel v systému oxid křemičitý, oxid sodný a oxid vápenatý. Vzorec pro výpočet indexu bioaktivity je

$$I = \frac{100}{\text{počet dnů potřebných pro vytvoření vazby mezi polovinou povrchu implantátu a kostní tkání}}$$

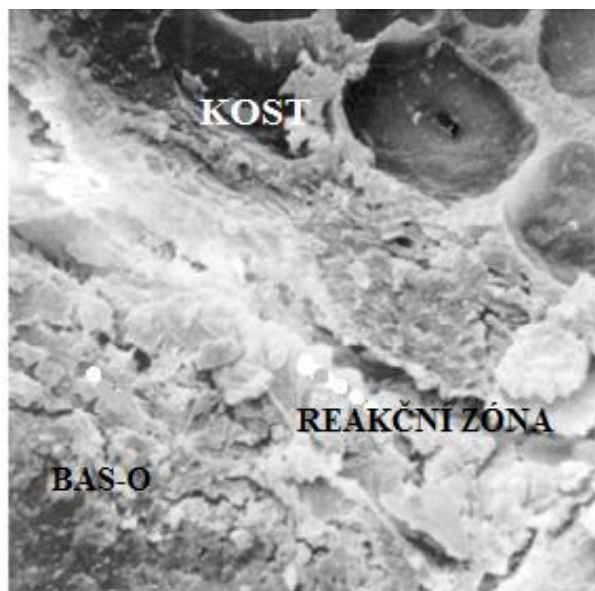
Skla s indexem bioaktivity $I > 1$ tvoří vazbu s kostní tkání. Materiály s indexem bioaktivity $I > 8$ se také dokážou vázat k měkkým tkáním. Bioaktivní sklokeramika obsahuje oxid hořečnatý a je charakteristická vyšším obsahem oxidu fosforečného.

Mezi další bioaktivní materiály patří český produkt označený BAS-O. tento dlouhodobě stabilní materiál s vysokou mechanickou pevností se připravuje řízenou krystalizací skla. Při této technologii se přemění amorfni materiál na sklokeramiku s hlavními krystalickými fázemi apatitu a wollastonitu. Jedná se nekovovou látku anorganicko polykrystalickou. Základní podmínkou pro vznik vazby je tvorba tenké povrchové vrstvy obohacené o fosfor a vápník, která vzniká na povrchu jako výsledek reakce mezi tělní tekutinou a implantátem. [5]



Obr. č. 2 - Apatitová vrstva vytvořená na povrchu implantátu BAS-O po 28 dnech vystavení simulovanému roztoku lidské plazmy: příčný řez povrchovou vrstvou (zvětšeno 10 000×)[5]

Z počátku je vrstva amorfní, po čase se ale mění na vrstvu polykrystalickou apatitových útvarů. Za 4 až 8 týdnů se vytvoří pevná vazba. Implantáty BAS-O mají velice podobné vlastnosti jako kost, mezi které patří pevnost v ohybu, která je srovnatelná a pevnost v tlaku, která je oproti kosti dvojnásobná. Implantáty se vyrábějí v podobě globulí, hranolků nebo plátek. [5]



Obr. č. 3 - Detail srůstu kostní tkáni s implantátem bioaktivní sklokeramiky dva měsíce po implantaci (zvětšeno 600×) [5]



6.4. Smalty v kontaktu s atmosférou

Smaltové sklovité povlaky velmi dobře odolávají kyselinám a mají vysokou odolnost vůči agresivním prostředím. I při dlouhodobém působení atmosférických produktů, jako je voda a vítr, vydrží smaltové povlaky desítky let bez výraznějšího opotřebení.

7 Metodika experimentálních prací

1. Příprava a značení vzorků
2. Porovnání a určení odstínů barev smaltů na vzorcích před korozní zkouškou
3. Měření tloušťky smaltů před korozní zkouškou
4. Měření drsnosti smaltů před korozní zkouškou
5. Zkouška odolnosti smaltů proti mechanickým nárazům prováděná nastřelováním před korozní zkouškou
6. Vložení vzorků do korozní komory
7. Porovnání a určení odstínů barev smaltů na vzorcích po korozní zkoušce
8. Měření tloušťky smaltů po korozní zkoušce
9. Měření drsnosti smaltů po korozní zkoušce
10. Zkouška odolnosti smaltů proti mechanickým nárazům prováděná nastřelováním po korozní zkoušce
11. Mikroskopická analýza
12. Vyhodnocení experimentálních zkoušek a porovnání výsledků

8 Provedení experimentálních prací

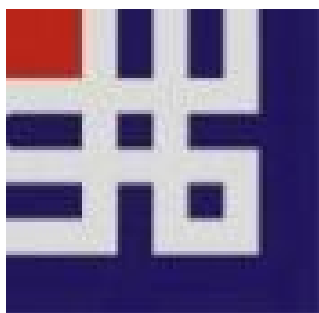
8.1. Příprava vzorků

V mojí bakalářské práci se jako vzorky pro experimentální část použily smaltované ocelové uliční cedule o rozměrech 800x400 mm.



Obr. č. 4 – Smaltovaná uliční cedule o rozměrech 800x400 mm [7]

Z každé cedule byly vyříznuty tři menší vzorky, a to jeden na korozní zkoušku a mikroskopickou analýzu povrchu před i po korozní zkoušce (vz. 1, 2, 3) a další dva pouze na mikroskopickou analýzu povrchu a hrany.



Obr. č. 5 – Vzorek pro korozní zkoušku [7]



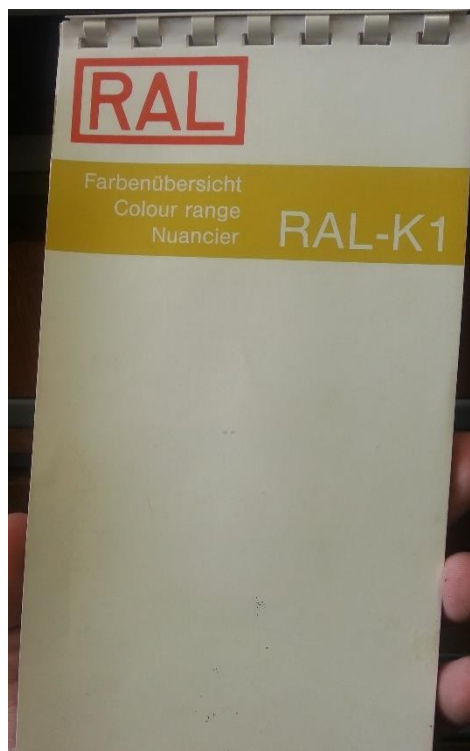
Obr. č. 6 – Vzorek pro mikroskopickou analýzu [7]



Obr. č. 7 – Vzorek pro mikroskopickou analýzu [7]

8.2. Určení odstínů barev smaltů na vzorcích

Vzorky, které byly určeny k vložení do korozní komory, jsem vizuálně porovnal s paletou barev ze vzorníku RAL-K1, a to každou barvu obsaženou ve vzorku. Barvy, které jsme porovnával byly bílá, modrá a červená. Vzorník barev RAL je celosvětově uznávaný standard pro stupnici barevných odstínů, který se používá především v průmyslové výrobě.



Obr. č. 8 – Vzorkovník RAL-K1

8.3. Měření tloušťky smaltů

Tloušťku smaltů jsem měřil u vzorků určených ke korozní zkoušce. Použil jsem k tomu elektromagnetický tloušťkoměr ELCOMETER A456.



Obr. č. 9 – Tloušťkoměr ELCOMETER A456 [8]

Tento tloušťkoměr měří na principu elektromagnetické indukce, která se mění se změnou tloušťky. Nejdříve jsem tloušťkoměr musel zkalibrovat. Kalibraci jsem provedl tak, že jsme k doteku přístroje přiložil kalibrační etalon dané tloušťky a následně jsem tuto hodnotu nastavil na display.

8.4. Měření drsnosti smaltů

Měření drsnosti smaltů jsem provedl pomocí dotykového profilometru Mytutoyo SJ-301. Tento přístroj je jednoduchý na obsluhu, obsahuje velký LCD display a zabudovanou vysokorychlostní tiskárnu.



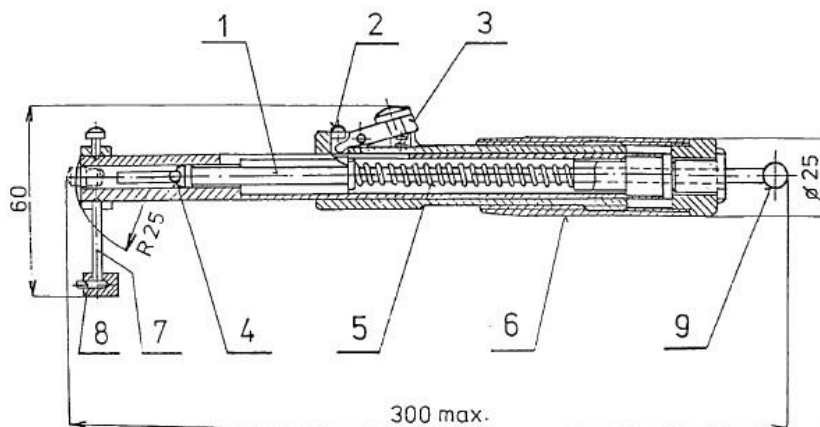
Obr. č. 10 – Dotykový profilometr Mytutoyo SJ-301

8.5. Zkouška odolnosti smaltů proti mechanickým nárazům

Tuto zkoušku jsem provedl nastřelováním dle normy ČSN ISO 4532 (dříve ČSN 945050) přístrojem dle Wegnera. Přístroj se skládá z úderníku, ve kterém je ocelová kulička o průměru 5 mm. Tato kulička se vystřeluje pomocí stlačené pružiny proti zkušební ploše – vzorku. Síla úderu se pohybuje v rozmezí od 0 N do 90 N.

Při zkoušení smaltových vzorků se přístroj postaví kolmo ke zkoušené ploše. Zkoušení se provádí vždy na novém místě, a to vzdáleném min. 20 mm od úderu předchozího. Začíná se úderem o síle 10 N a postupně se síla zvyšuje až do hodnoty 90 N.

Vyhodnocení zkoušky se provádí vizuálně za 24 hodin od posledního úderu ze vzdálenosti 250 mm. Posuzuje se poškození smaltu jako jsou trhlinky, odchlípnutí a odprýsknutí. Za závadu se nepovažuje poškození bez trhlinek. [ČSN ISO 4532]



- | | | | |
|---|-----------------|---|----------------------------|
| 1 | napínací tyčka | 6 | objímka pro nastavení síly |
| 2 | držák | 7 | třínožka |
| 3 | spouštěč | 8 | podložka z měkké pryže |
| 4 | ocelová kulička | 9 | napínací hmatník |
| 5 | tlačná pružina | | |

Obr. č. 11 – Přístroj dle Wegnera

8.6. Korozní zkouška v umělé atmosféře

Korozní zkouška u smaltových vzorků probíhala dle normy ČSN EN ISO 9227 v korozní komoře, a to v neutrální solné mlze v prostředí C5 po dobu 360 hodin (15 dnů), to odpovídá cca 5ti rokům v klasické atmosféře. Při zkoušce neutrální solnou mlhou se v řízeném prostředí rozprašuje 5% roztoku NaCl, jehož pH se pohybuje v rozmezí od 6,5 do 7,2. [ČSN EN ISO 9227]

8.7. Mikroskopická analýza povrchu

Mikroskopickou analýzu povrchu jsem provedl na světelném mikroskopu Neophot 2, který slouží ke zkoumání metalografických struktur. K mikroskopu je připojen fotoaparát Nikon E990, který vytváří snímky a ty je potom možné shlédnout a porovnat v počítači.



Obr. č. 12 – Mikroskop NEOPHOT 2

9 Vyhodnocení experimentálních prací

9.1. Určení odstínů barev na smalttech

9.1.1. Před korozní zkouškou

U vzorků před korozní zkouškou jsem určil odstíny následovně:

VZOREK č. 1:

- *červená barva* – odpovídá odstínu **RAL 3020** ze vzorníku RAL-K1
- *bílá barva* – odpovídá odstínu **RAL 9003** ze vzorníku RAL-K1
- *modrá barva* – odpovídá odstínu **RAL 5002** ze vzorníku RAL-K1

VZOREK č. 2:

- *červená barva* – odpovídá odstínu **RAL 3020** ze vzorníku RAL-K1
- *bílá barva* – ze vzorníku RAL-K1 neodpovídá žádnému odstínu, ale nejvíce se podobá odstínu **RAL 9016**
- *modrá barva* – ze vzorníku RAL-K1 neodpovídá žádnému odstínu, ale nejvíce se podobá odstínu **RAL 5013**

VZOREK č. 3:

- *červená barva* – odpovídá odstínu **RAL 3020** ze vzorníku RAL-K1
- *bílá barva* – odpovídá odstínu **RAL 9003** ze vzorníku RAL-K1



- *modrá barva* – odpovídá odstínu **RAL 5002** ze vzorníku RAL-K1

9.1.2. Po korozní zkoušce

U vzorků po korozní zkoušce jsem určil odstíny následovně:

VZOREK č. 1:

- *červená barva* – odpovídá odstínu **RAL 3020** ze vzorníku RAL-K1
- *bílá barva* – odpovídá odstínu **RAL 9003** ze vzorníku RAL-K1
- *modrá barva* – odpovídá odstínu **RAL 5002** ze vzorníku RAL-K1

VZOREK č. 2:

- *červená barva* – odpovídá odstínu **RAL 3020** ze vzorníku RAL-K1
- *bílá barva* – ze vzorníku RAL-K1 neodpovídá žádnému odstínu, ale nejvíce se podobá odstínu **RAL 9016**
- *modrá barva* – ze vzorníku RAL-K1 neodpovídá žádnému odstínu, ale nejvíce se podobá odstínu **RAL 5013**

VZOREK č. 3:

- *červená barva* – odpovídá odstínu **RAL 3020** ze vzorníku RAL-K1
- *bílá barva* – odpovídá odstínu **RAL 9003** ze vzorníku RAL-K1
- *modrá barva* – odpovídá odstínu **RAL 5002** ze vzorníku RAL-K1

9.1.3. Vyhodnocení

Z tohoto experimentu (porovnání) vyplývá, že se odstínu barev před i po korozní zkoušce vizuálně nezměnily.

9.2. Měření tloušťky smaltů

Tloušťku jsem měřil u každého vzorku určeného ke korozní zkoušce, a to v deseti bodech na každé barvě. Naměřené hodnoty jsem zapsal do tabulky.

9.2.1. Naměřené hodnoty před korozní zkouškou

Tab. č. 1 – Tabulka naměřených hodnot tloušťek u vzorku č. 1

	Červená barva	Bílá barva	Modrá barva
č. měření	tl. povlaku [μm]	tl. povlaku [μm]	tl. povlaku [μm]
1	397	481	596
2	413	478	545
3	379	592	684
4	442	554	674
5	435	611	708
6	391	621	551
7	407	523	725
8	416	610	626
9	386	601	557
10	413	564	639
Φ	407,9	563,5	630,5

Tab. č. 2 – Tabulka naměřených hodnot tloušťek u vzorku č. 2

	Červená barva	Bílá barva	Modrá barva
č. měření	tl. povlaku [μm]	tl. povlaku [μm]	tl. povlaku [μm]
1	296	320	267
2	339	305	276
3	302	350	499
4	349	361	427
5	312	358	403
6	356	376	343
7	317	314	297
8	355	338	231
9	370	404	254
10	341	322	263
Φ	333,7	344,8	326

Tab. č. 3 – Tabulka naměřených hodnot tloušťek u vzorku č. 3

	Červená barva	Bílá barva	Modrá barva
č. měření	tl. povlaku [μm]	tl. povlaku [μm]	tl. povlaku [μm]
1	290	448	429
2	268	398	440
3	282	429	457
4	327	413	447
5	316	494	497
6	319	428	410

7	328	386	445
8	296	325	513
9	278	369	467
10	290	411	436
Φ	299,4	410,1	454,1

9.2.2. Naměřené hodnoty po korozní zkoušce

Tab. č. 4 – Tabulka naměřených hodnot tlouštěk u vzorku č. 1

	Červená barva	Bílá barva	Modrá barva
č. měření	tl. povlaku [μm]	tl. povlaku [μm]	tl. povlaku [μm]
1	475	611	736
2	485	617	729
3	428	585	729
4	463	473	739
5	422	652	612
6	438	649	658
7	456	582	576
8	428	610	745
9	466	655	711
10	464	609	754
Φ	452,5	604,3	698,7

Tab. č. 5 – Tabulka naměřených hodnot tlouštěk u vzorku č. 2

	Červená barva	Bílá barva	Modrá barva
č. měření	tl. povlaku [μm]	tl. povlaku [μm]	tl. povlaku [μm]
1	384	409	376
2	381	433	385
3	382	423	402
4	392	379	352
5	389	415	349
6	381	416	355
7	396	397	350
8	388	361	348
9	382	406	427
10	387	413	379
Φ	386,2	405,2	372,7

Tab. č. 6 – Tabulka naměřených hodnot tlouštěk u vzorku č. 3

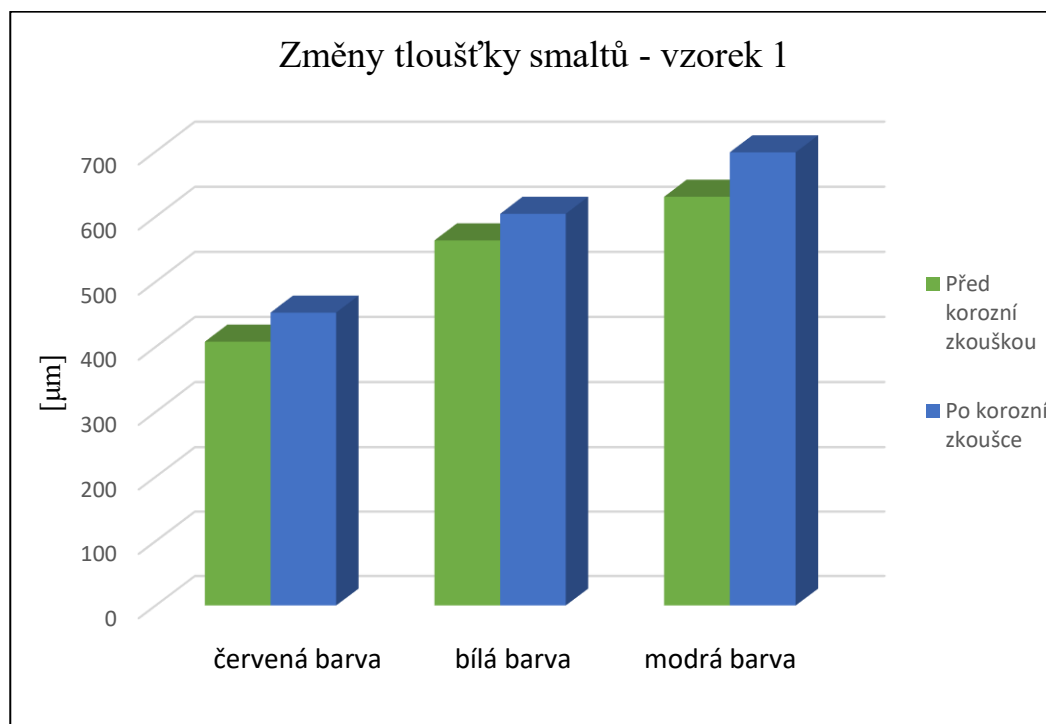
	Červená barva	Bílá barva	Modrá barva
č. měření	tl. povlaku [μm]	tl. povlaku [μm]	tl. povlaku [μm]
1	285	367	457
2	296	375	447
3	300	353	476
4	296	400	472
5	311	387	474
6	316	383	492
7	292	408	489
8	319	344	458
9	314	360	468
10	287	388	480
Φ	301,6	376,5	471,2

Tab. č. 7 – Tabulka průměrných naměřených hodnot

Průměrná naměřená hodnota Φ [μm]			
		Před korozní zkouškou	Po korozní zkoušce
vz. č. 1	červ. b.	407,9	452,5
	bílá b.	563,5	604,3
	modr. b.	630,5	698,7
vz. č. 2	červ. b.	333,7	386,2
	bílá b.	344,8	405,2
	modr. b.	326	372,7
vz. č. 3	červ. b.	299,4	301,6
	bílá b.	410,1	376,5
	modr. b.	454,1	471,2

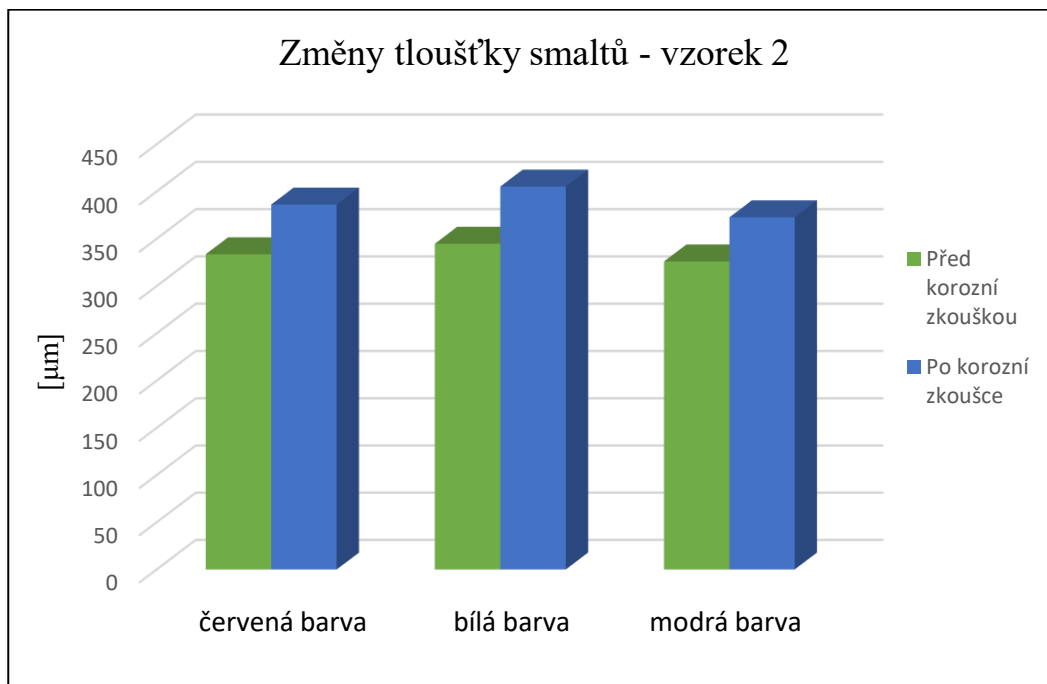
9.2.3. Vyhodnocení měření tloušťky smaltů

V tabulkách 1 až 6 je vidět, že tloušťky smaltů u jednotlivých vzorků se pohybují v různých hodnotách. Důvodem může být použití různých technologií nanášení smaltových povlaků. V tab. č. 7 jsou k vidění průměrné naměřené hodnoty jednotlivých barev smaltů na všech zkušebních vzorcích. V následujících grafech jsou k vidění tloušťky jednotlivých barev smaltů před korozní zkouškou a jejich změny po korozní zkoušce.



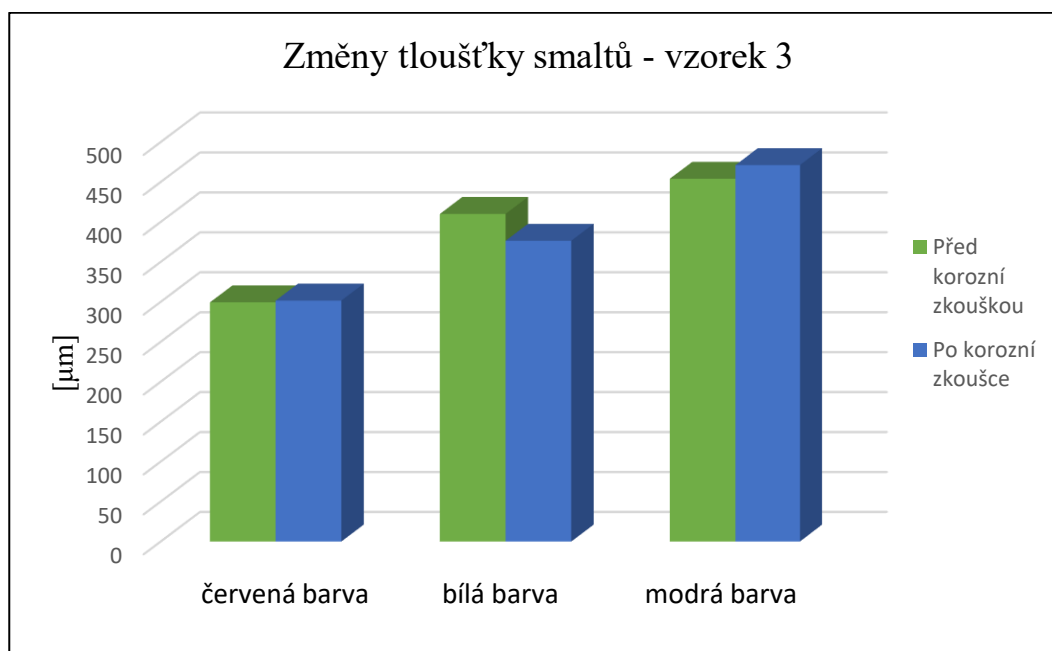
Graf č. 1 – Grafické zhodnocení průměrných tlouštěk smaltů u vzorku č. 1

V grafu č. 1 vidíme, že tloušťka červeného smaltu se před korozní zkouškou pohybovala kolem hodnoty 407,9 μm a po korozní zkoušce se průměrná hodnota zvýšila na 452,5 μm . Tloušťka bílého smaltu byla před korozní zkouškou rovna hodnotě 563,5 μm a po korozní zkoušce hodnotě 604,3 μm . U modrého smaltu se průměrná tloušťka před korozní zkouškou rovnala 630,5 μm , po korozní zkoušce potom 698,7 μm .



Graf č. 2 – Grafické zhodnocení průměrných tlouštěk smaltů u vzorku č. 2

Na grafu č. 2 jsou změny tloušťky viditelně největší. Před korozní zkouškou se průměrná tloušťka u červeného smaltu rovnala 333,7 μm, u bílého smaltu 344,8 μm a u modrého 326 μm. Po korozní zkoušce se hodnoty opět zvýšily. Konkrétně u červeného smaltu na 386,2 μm, u bílého na 405,2 μm a u modrého na hodnotu 372,7 μm.



Graf č. 3 – grafické zhodnocení průměrných tlouštěk smaltů u vzorku č. 3

Z grafu č. 3 je patrné, že se průměrné tloušťky smaltů po korozní zkoušce změnily nejméně. U červeného smaltu se průměrná tloušťka zvýšila z 299,4 μm na 301,6 μm . U bílého smaltu se průměrná tloušťka dokonce zmenšila, a to z hodnoty 410,1 μm na hodnotu 376,5 μm . Na modrém smaltu se průměrná tloušťka zvýšila z 454,1 μm na 471,2 μm .

Ze všech třech grafů je patrné, že se průměrná tloušťka v drtivé většině případů po korozní zkoušce zvýšila. Důvodem je pravděpodobně koroze podkladového materiálu koroze skla, která naruší vnitřní strukturu smaltového povlaku.

9.3. Měření drsnosti smaltů

Na vzorcích jsem měřil drsnost povrchu smaltů na všech barvách pomocí dotykového profilometru Mytutoyo SJ-301. Měřil jsem celkem desetkrát na každé barvě před i po korozní zkoušce. Délka měřeného profilu byla $l = 4 \text{ mm}$ a filtr profilu $\lambda_c = 0,8$. Naměřené hodnoty jsem zapsal do tabulky.

9.3.1. Naměřené hodnoty před korozní zkouškou

Tab. č. 8 – Tabulka naměřených hodnot drsnosti u vzorku č. 1

	Červená barva		Modrá barva		Bílá barva	
č. měření	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]
1	0,21	1,32	0,14	0,78	0,1	0,68
2	0,11	0,69	0,15	0,82	0,11	0,75
3	0,13	0,78	0,18	0,97	0,18	0,82
4	0,15	0,97	0,13	0,92	0,17	1
5	0,13	0,8	0,17	0,94	0,17	1,12
6	0,14	0,87	0,18	1,11	0,18	1,01
7	0,19	1,14	0,16	0,87	0,16	1,08
8	0,16	0,83	0,13	0,93	0,18	0,95
9	0,22	0,97	0,18	1,04	0,21	0,84
10	0,12	0,84	0,13	0,91	0,14	0,97
Φ	0,144	0,837	0,142	0,838	0,146	0,825

Tab. č. 9 – Tabulka naměřených hodnot drsnosti u vzorku č. 2

	Červená barva		Modrá barva		Bílá barva	
č. měření	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]
1	0,13	0,71	0,15	0,9	0,18	1,21
2	0,15	0,76	0,17	0,9	0,1	0,6
3	0,13	0,78	0,13	0,79	0,11	0,67
4	0,20	1,03	0,14	0,79	0,19	1,54
5	0,08	0,53	0,17	0,95	0,18	1,22
6	0,11	0,66	0,16	0,95	0,18	1,43
7	0,17	0,71	0,17	0,88	0,15	1,16
8	0,11	0,69	0,14	0,83	0,21	1,24
9	0,16	0,82	0,18	0,76	0,18	1,30
10	0,13	0,57	0,13	0,88	0,16	1,34
Φ	0,124	0,669	0,141	0,775	0,148	1,037

Tab. č. 10 – Tabulka naměřených hodnot drsnosti u vzorku č. 3

	Červená barva		Modrá barva		Bílá barva	
č. měření	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]
1	0,1	0,62	0,15	1,14	0,15	0,75
2	0,16	0,97	0,13	0,87	0,1	0,59
3	0,14	0,81	0,14	0,75	0,13	0,74
4	0,12	0,81	0,19	1,13	0,08	0,53
5	0,2	1,26	0,15	0,9	0,16	1,3
6	0,14	0,81	0,19	1,28	0,17	1,24
7	0,18	0,95	0,17	1,21	0,09	1,12
8	0,21	0,81	0,21	0,98	0,13	0,92
9	0,17	1,14	0,19	0,88	0,17	0,76
10	0,14	0,74	0,16	1,13	0,12	1,21
Φ	0,142	0,818	0,152	0,914	0,118	0,795

9.3.2. Naměřené hodnoty po korozní zkoušce

Tab. č. 11 – Tabulka naměřených hodnot drsnosti u vzorku č. 1

	Červená barva		Modrá barva		Bílá barva	
č. měření	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]
1	0,21	1,19	0,17	0,94	0,13	0,71
2	0,24	1,08	0,16	0,81	0,14	0,78
3	0,16	0,91	0,21	0,85	0,21	0,85
4	0,18	0,78	0,16	1,01	0,2	1,03
5	0,21	0,85	0,18	0,95	0,22	1,15
6	0,16	0,97	0,16	0,97	0,21	1,04
7	0,24	0,85	0,2	1,14	0,19	1,11
8	0,23	0,91	0,21	0,9	0,21	0,98
9	0,18	1,12	0,19	0,96	0,23	0,87
10	0,19	0,92	0,18	1,07	0,17	1
Φ	0,181	0,866	0,164	0,853	0,174	0,852

Tab. č. 12 – Tabulka naměřených hodnot drsnosti u vzorku č. 2

	Červená barva		Modrá barva		Bílá barva	
č. měření	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]
1	0,15	0,78	0,18	1,1	0,22	1,24
2	0,18	0,82	0,19	1,06	0,16	0,68
3	0,17	0,76	0,17	0,88	0,17	0,72
4	0,22	1,09	0,19	0,86	0,23	1,6
5	0,13	0,61	0,21	1,04	0,19	1,25
6	0,14	0,67	0,18	1,1	0,2	1,48
7	0,18	0,73	0,2	0,97	0,17	1,21
8	0,23	0,71	0,18	0,91	0,24	1,25
9	0,19	0,84	0,22	0,86	0,21	1,31
10	0,16	0,71	0,16	0,84	0,19	1,38
Φ	0,159	0,701	0,172	0,878	0,179	1,074

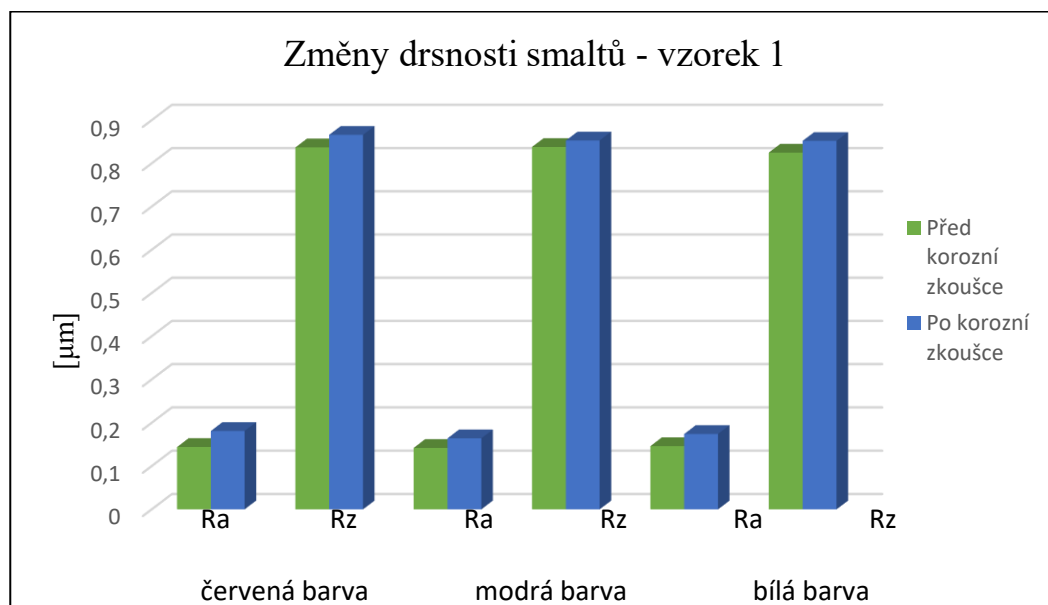
Tab. č. 13 – Tabulka naměřených hodnot drsnosti u vzorku č. 3

	Červená barva		Modrá barva		Bílá barva	
č. měření	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]
1	0,13	0,66	0,16	1,16	0,16	0,77
2	0,19	1,02	0,15	0,91	0,11	0,62
3	0,16	0,86	0,17	0,78	0,19	0,78
4	0,14	0,83	0,22	1,15	0,1	0,56
5	0,23	1,3	0,18	0,98	0,17	1,31
6	0,15	0,84	0,23	1,31	0,19	1,27
7	0,19	0,99	0,18	1,28	0,13	1,19
8	0,21	0,83	0,22	0,99	0,14	0,90
9	0,18	1,16	0,21	0,91	0,19	0,77
10	0,19	0,77	0,18	1,15	0,14	1,23
Φ	0,158	0,849	0,172	0,947	0,138	0,817

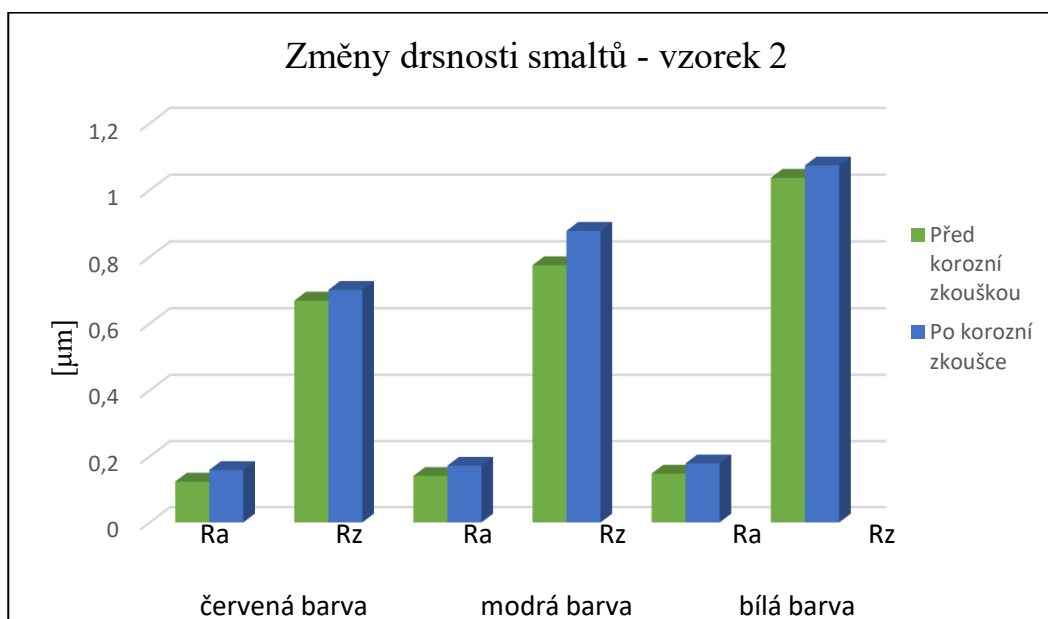
Tab. č. 14 – Tabulka průměrných naměřených hodnot

Průměrná naměřená hodnota Φ [μm]					
		Před korozní zkouškou		Po korozní zkoušce	
		Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]
vz. č. 1	červ. b.	0,144	0,837	0,181	0,866
	modr. b.	0,142	0,838	0,164	0,853
	bílá b.	0,146	0,825	0,174	0,852
vz. č. 2	červ. b.	0,124	0,669	0,159	0,701
	modr. b.	0,141	0,775	0,172	0,878
	bílá b.	0,148	1,037	0,179	1,074
vz. č. 3	červ. b.	0,142	0,818	0,158	0,849
	modr. b.	0,152	0,914	0,172	0,947
	bílá b.	0,118	0,795	0,138	0,817

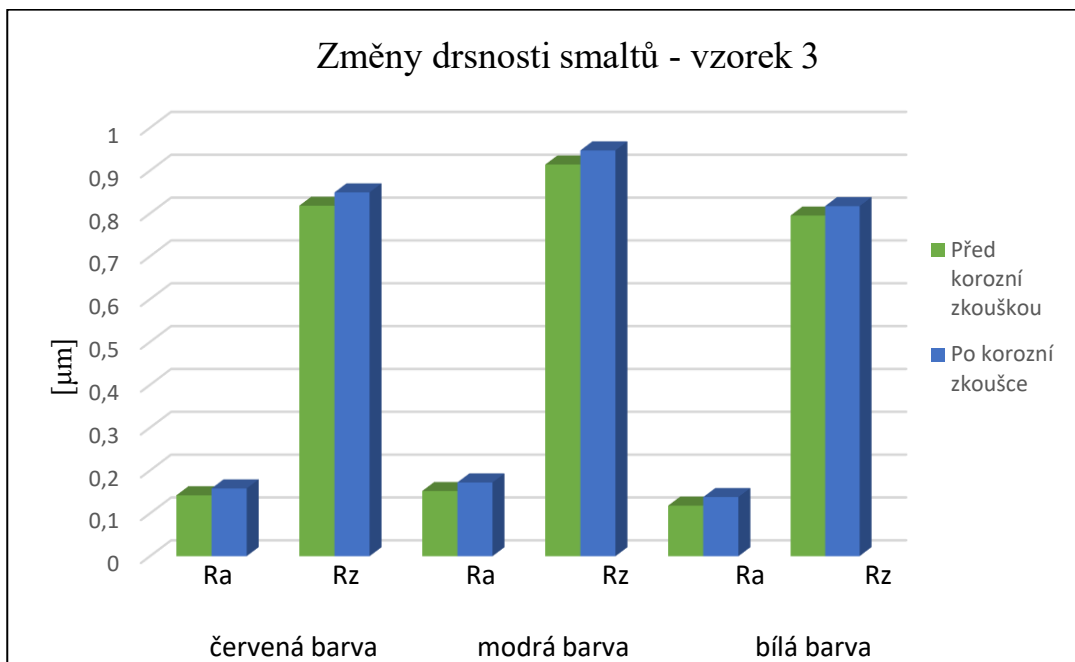
9.2.3. Vyhodnocení měření drsnosti smaltů



Graf č. 4 – Grafické znázornění průměrných drsností smaltů u vzorku č. 1



Graf č. 5 – Grafické znázornění průměrných drsností smaltů u vzorku č. 2



Graf č. 6 – Grafické znázornění průměrných drsností smaltů u vzorku č. 3

V grafech č. 4 až 6 můžeme vidět, že se hodnoty drsností u jednotlivých smaltových povrchů mírně zvýšily. Změny, které nastaly se pohybují v řádech 0,01 μm, a proto jsou zanedbatelné.

9.4. Zkouška odolnosti smaltu proti mechanickým nárazům prováděná nastřelováním

Cílem této zkoušky bylo zjistit, při jaké síle dojde k prvnímu porušení smaltového povlaku. Zkoušku jsem prováděl na třech vzorcích, které byly určeny ke korozní zkoušce, a to na devíti bodech. Kontrola jsem provedl vizuálně a vše nafotil.

9.4.1. Vyhodnocení zkoušky odolnosti před korozní zkouškou

Zkoušku odolnosti nastřelováním před korozní zkouškou jsem prováděl na původních vzorcích, tj. na cedulích o rozměrech 800x400 mm.

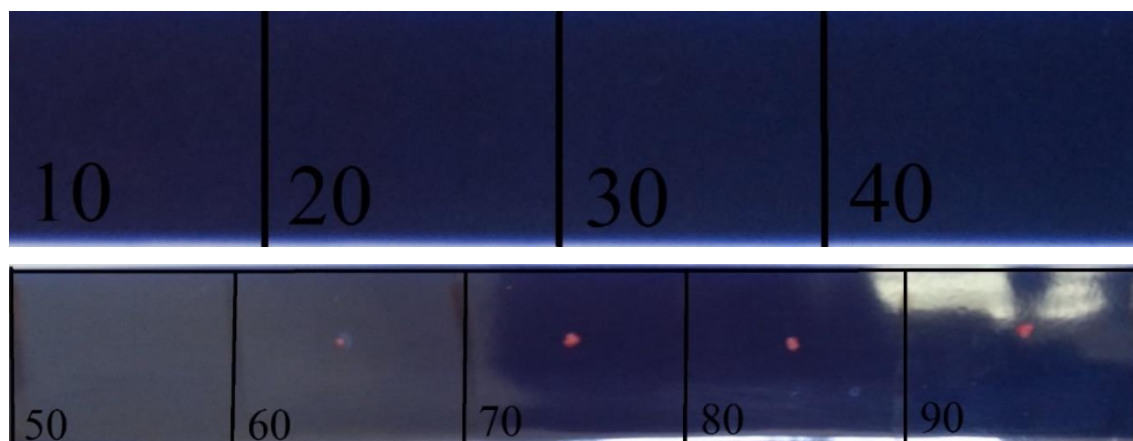
Vzorek č. 1:

Tab. č. 15 – Naměřené hodnoty nastřelování

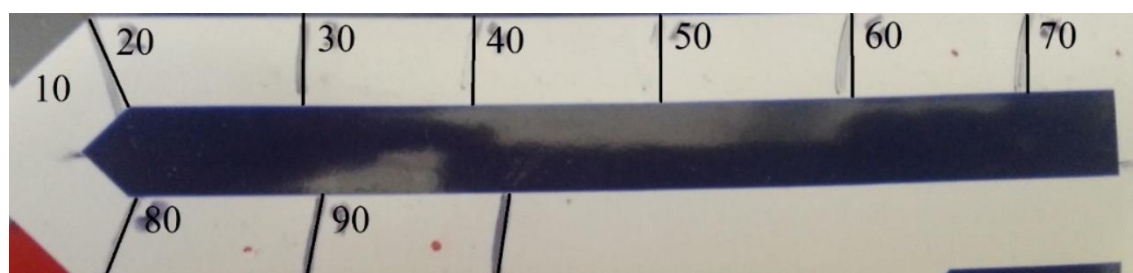
	Síla při prvním porušení [N]	Síla při odprýsknutí [N]
Červený smalt	50	60
Modrý smalt	50	60
Bílý smalt	50	60



Obr. č. 13 – Vzorek č. 1 - červený smalt



Obr. č. 14 – Vzorek č. 1 - modrý smalt



Obr. č. 15 – Vzorek č. 1 - bílý smalt

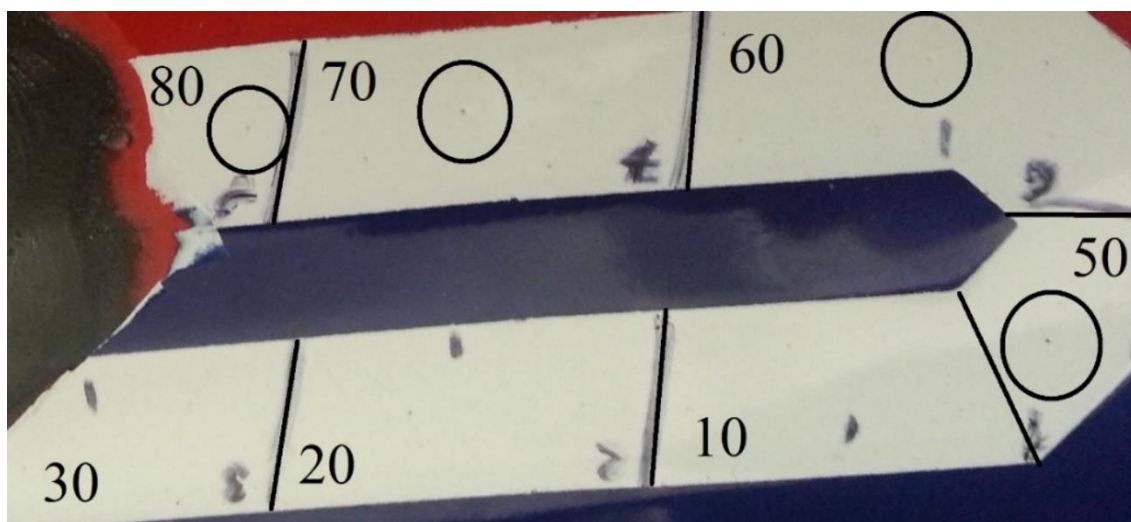
Vzorek č. 2:

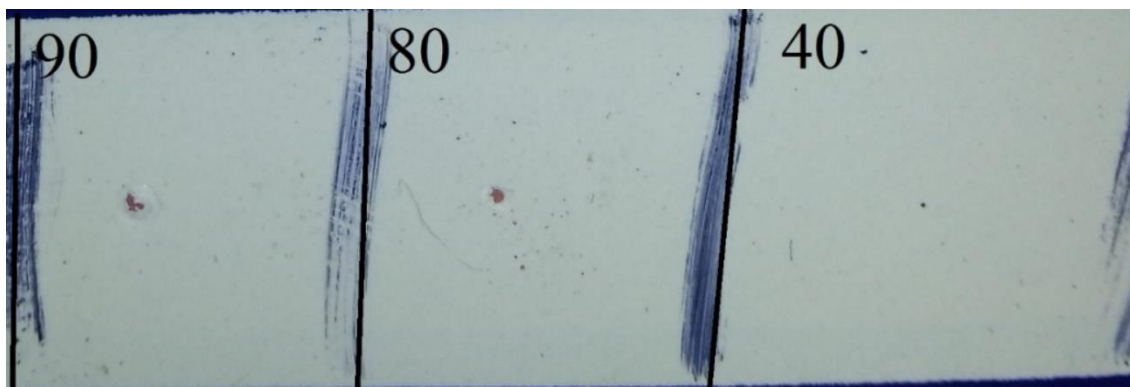
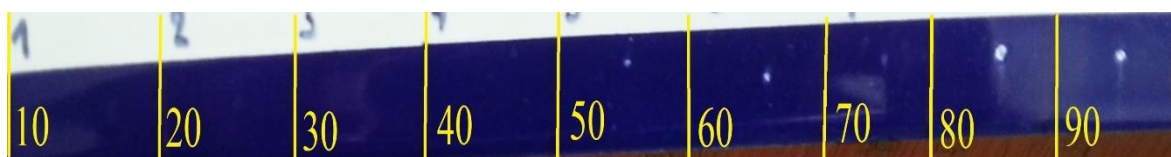
Tab. č. 16 – Naměřené hodnoty nastřelováním

	Síla při prvním porušení [N]	Síla při odprýsknutí [N]
Červený smalt	40	50
Modrý smalt	40	50
Bílý smalt	40	50



Obr. č. 16 – Vzorek č. 2 - červený smalt

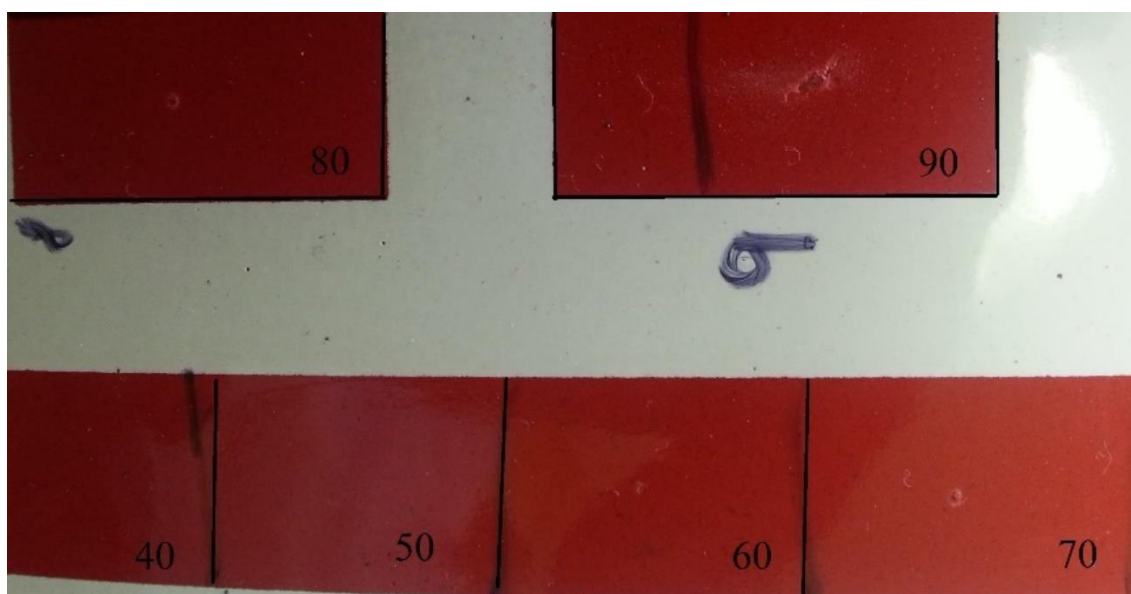


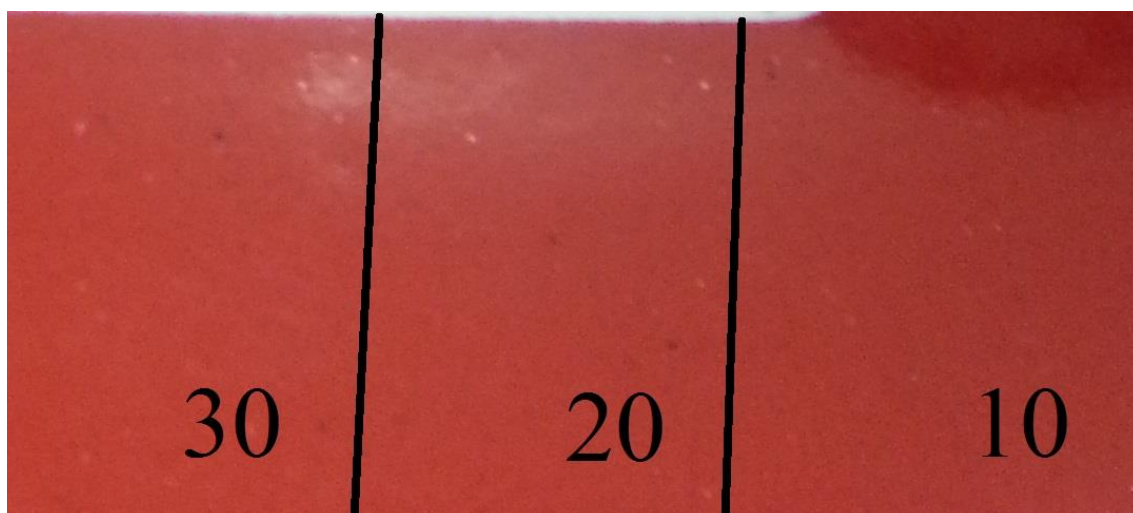
*Obr. č. 17 – Vzorek č. 2 - bílý smalt**Obr. č. 18 – Vzorek č. 2 - modrý smalt*

Vzorek č. 3:

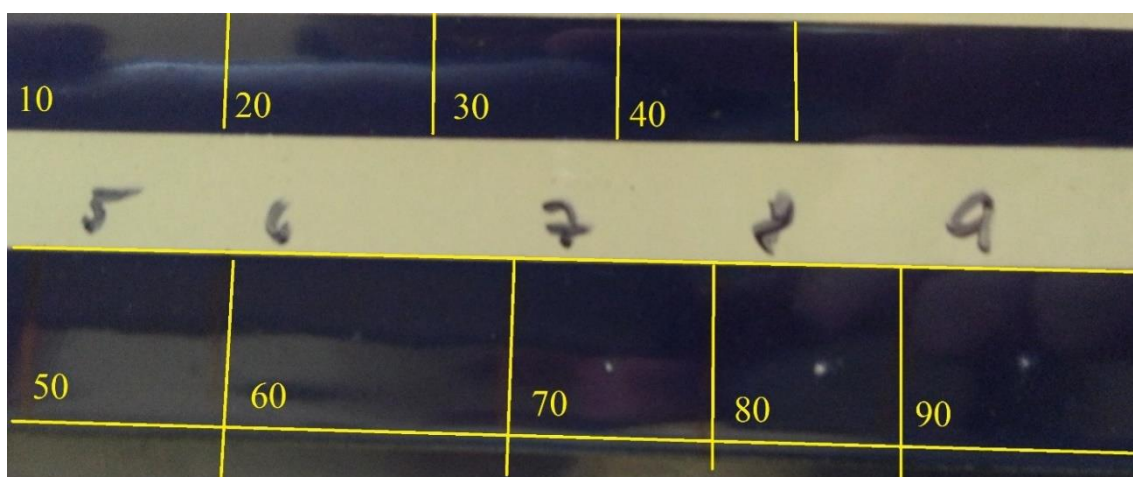
Tab. č. 17 – Naměřené hodnoty nastřelováním

	Síla při prvním porušení [N]	Síla při odprýsknutí [N]
Červený smalt	50	60
Modrý smalt	50	70
Bílý smalt	40	50

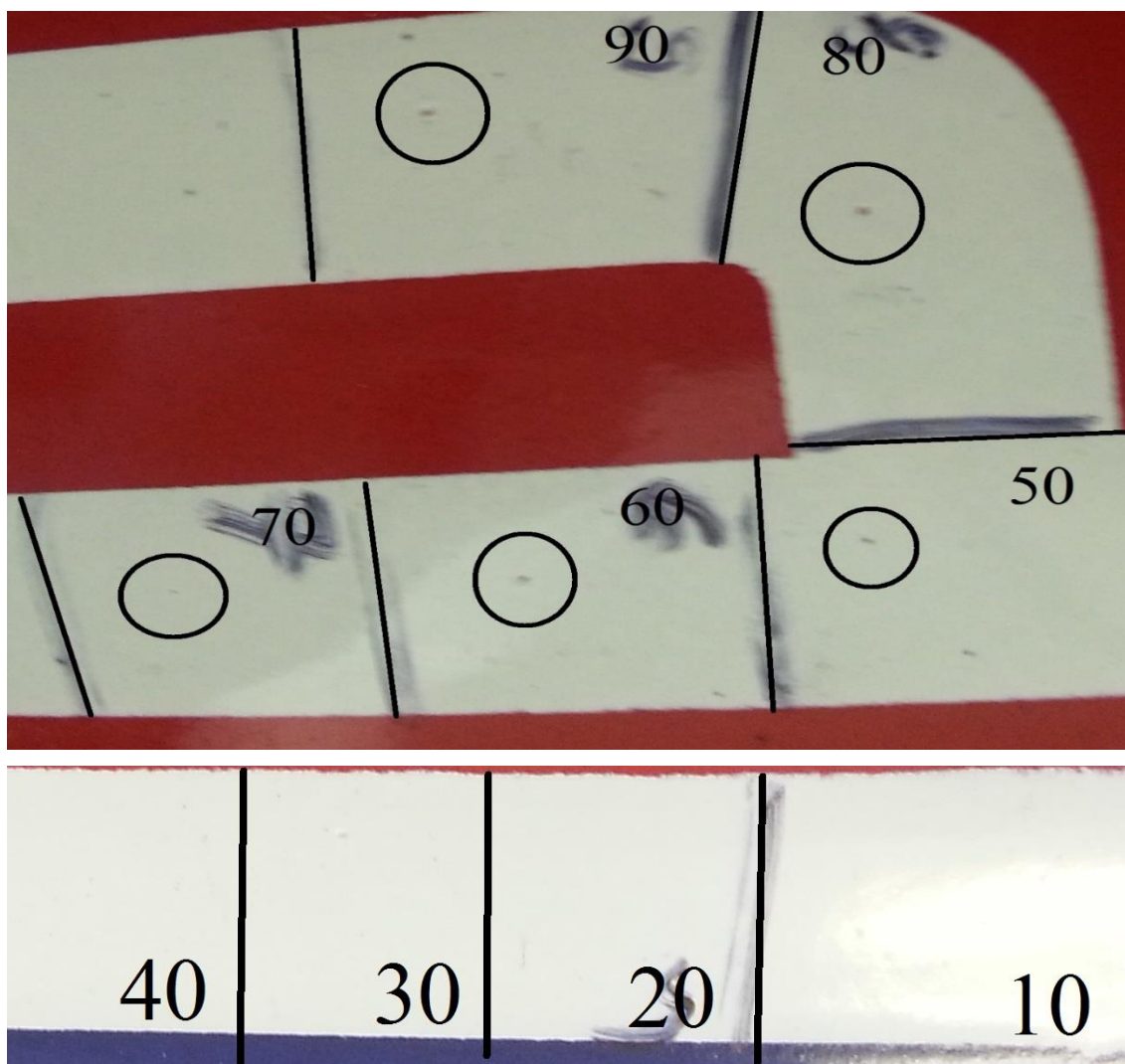




Obr. č. 19 – Vzorek č. 3 - červený smalt



Obr. č. 20 – Vzorek č. 3 - modrý smalt

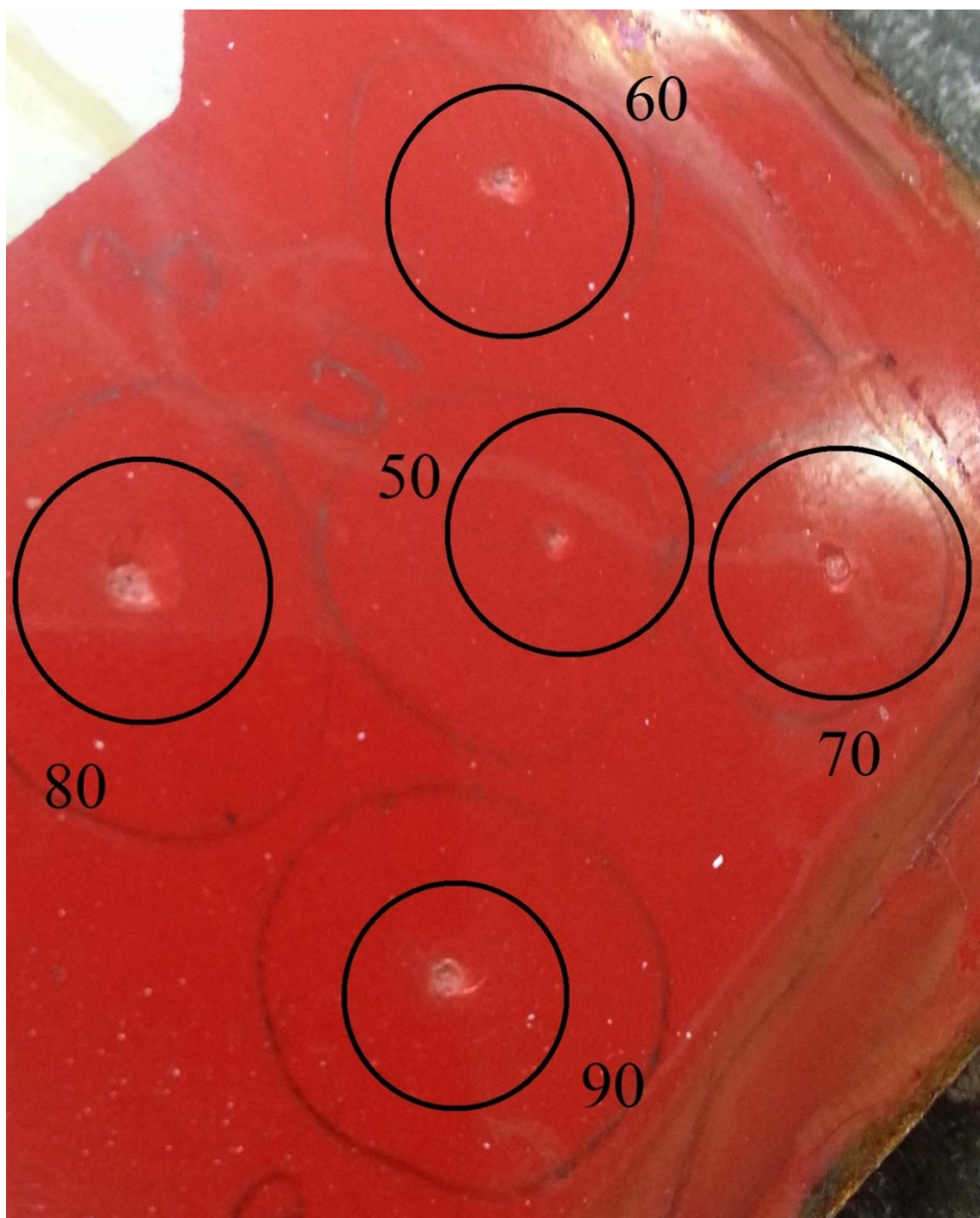


Obr. č. 21 – Vzorek č. 3 - bílý smalt

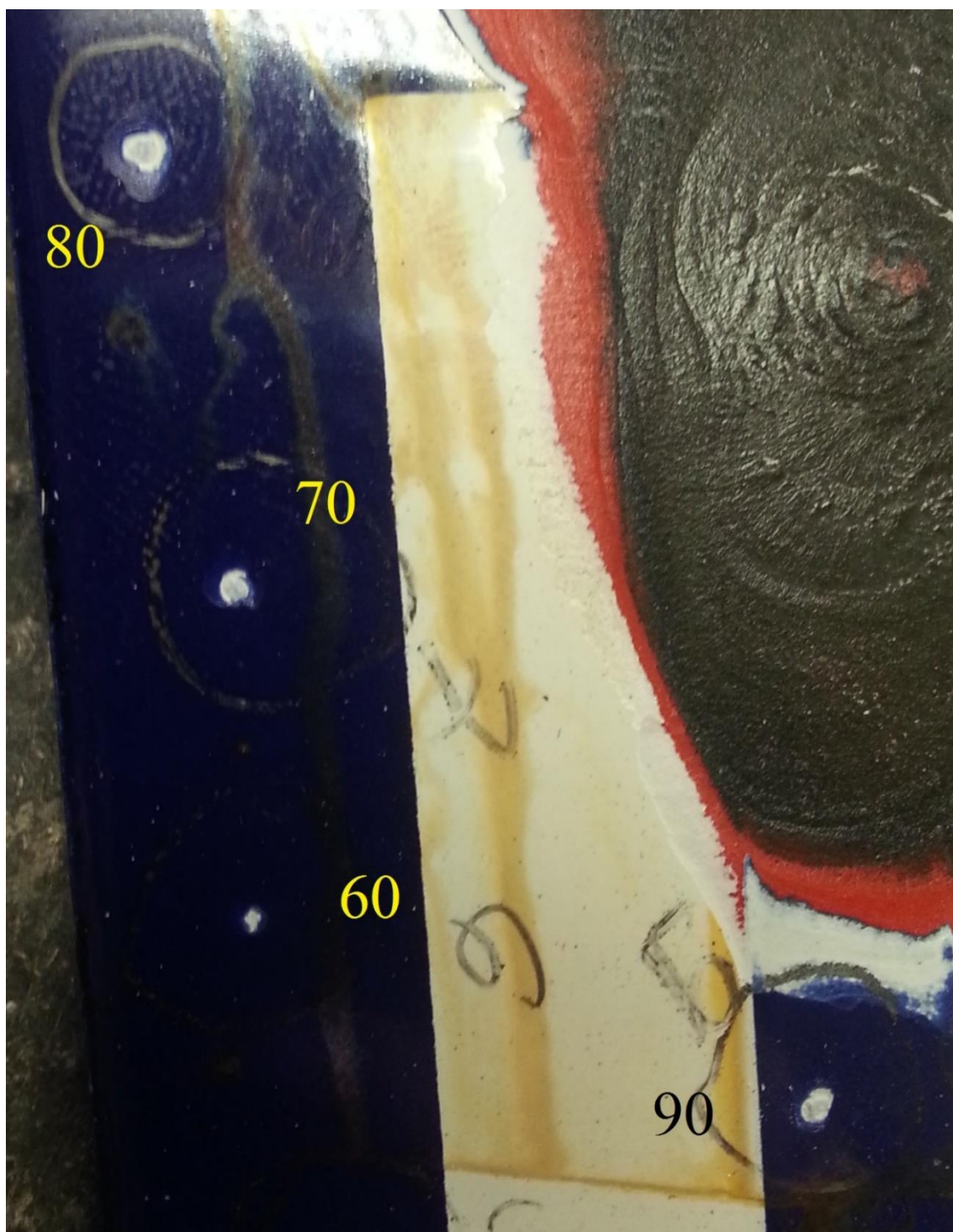
9.4.2. Vyhodnocení zkoušky odolnosti po korozní zkoušce

Zkoušku odolnosti nastřelováním po korozní zkoušce jsem prováděl na vzorcích, které byly vyříznuty z cedula o rozměrech 800x400 mm. Tyto vzorky byly malých rozměrů, proto jsem neprováděl kompletní zkoušku, ale jenom zkoušku od 60 N do 90 N. Z tohoto důvodu nelze určit při které síle došlo k prvnímu porušení smaltu.

Vzorek č. 1:



Obr. č. 22 – Vzorek č. 1 - červený smalt

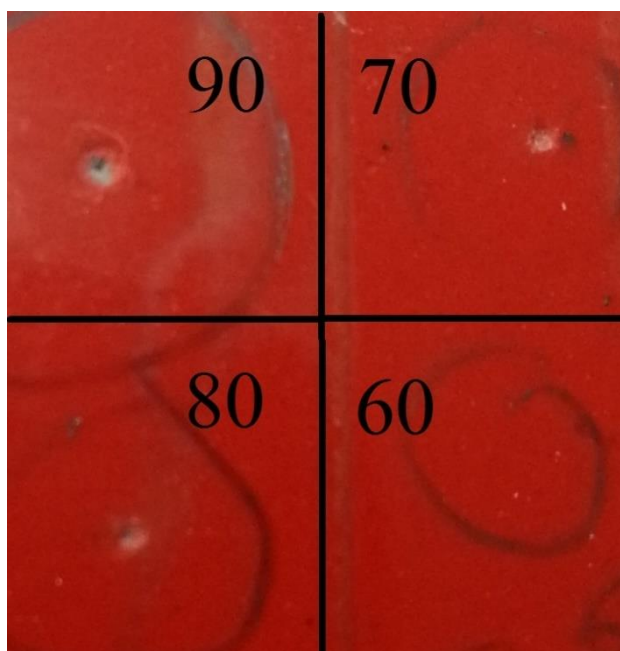


Obr. č. 23 – Vzorek č. 1 - modrý smalt

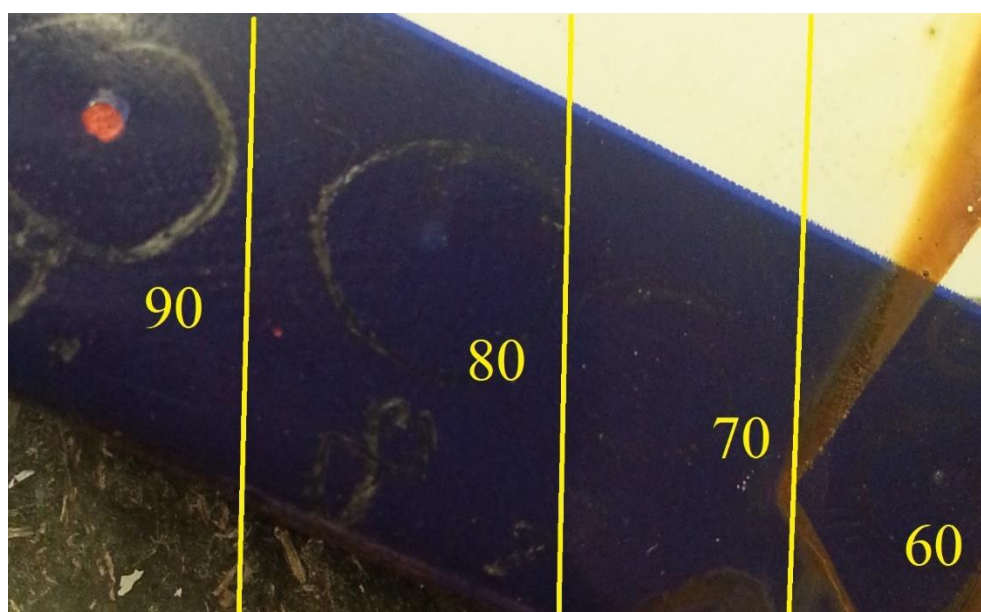


Obr. č. 24 – Vzorek č. 1 - bílý smalt

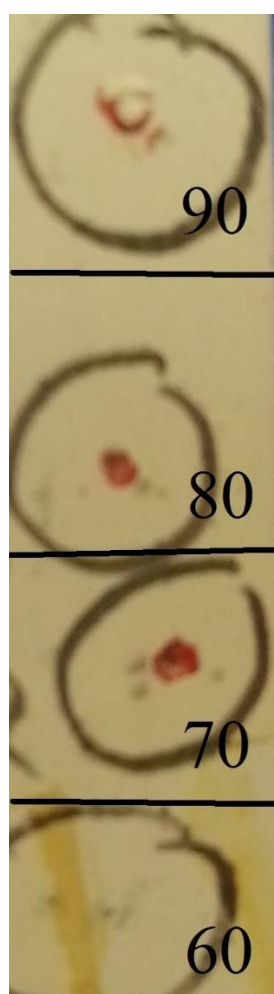
Vzorek č. 2:



Obr. č. 25 – Vzorek č. 2 - červený smalt

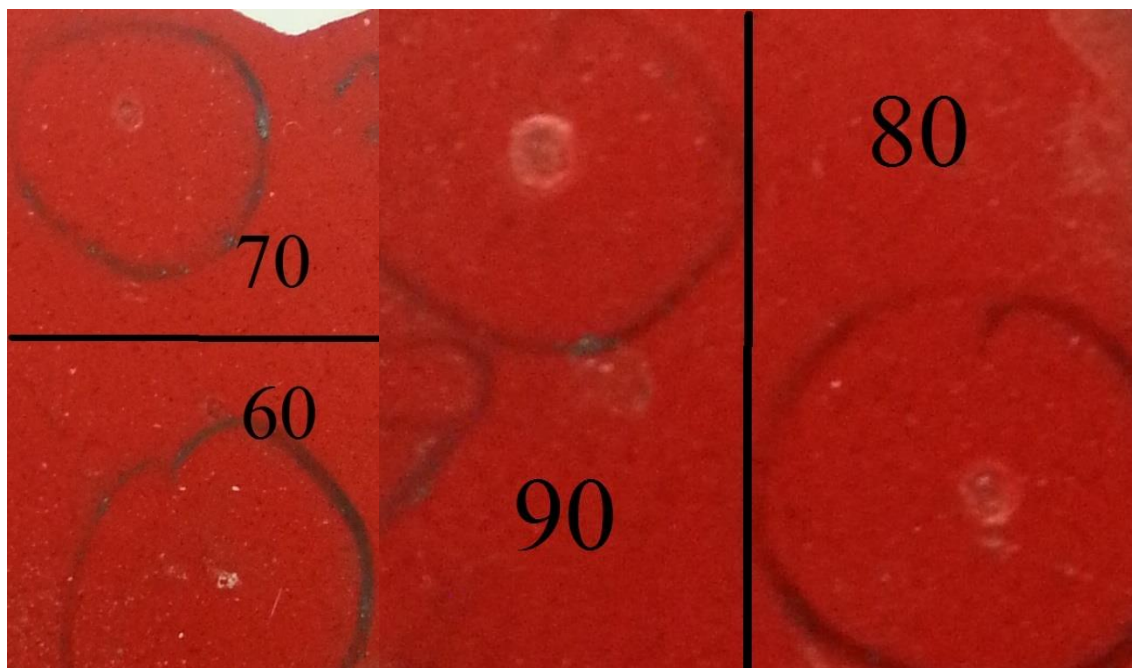


Obr. č. 26 – Vzorek č. 2 - modrý smalt

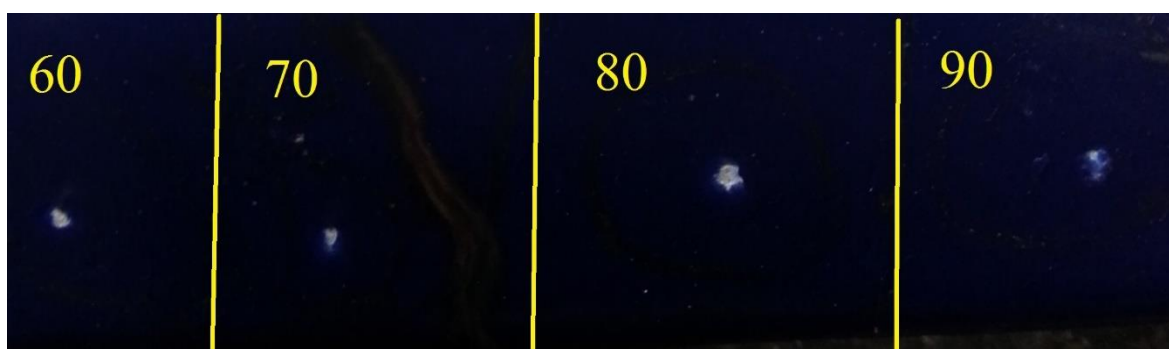


Obr. č. 27 – Vzorek č. 2 - bílý smalt

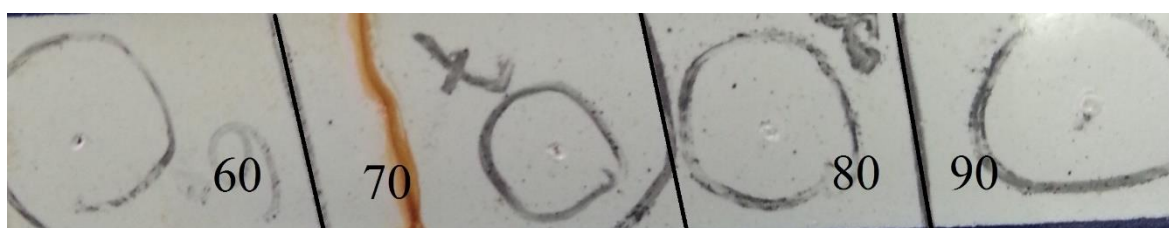
Vzorek č. 3:



Obr. č. 28 – Vzorek č. 3 - červený smalt



Obr. č. 29 – Vzorek č. 3 - modrý smalt



Obr. č. 30 – Vzorek č. 3 - bílý smalt

Z fotodokumentace zkoušky odolnosti nastřelováním je patrné, že lepší výsledky vykazují smalty na vzorcích před korozní zkouškou. Na vzorcích po korozní zkoušce je vidět, že jsou náchylnější jak na porušení, tak na odprýsknutí smaltového povlaku.

9.5. Vizualní zhodnocení vzorků po korozní zkoušce

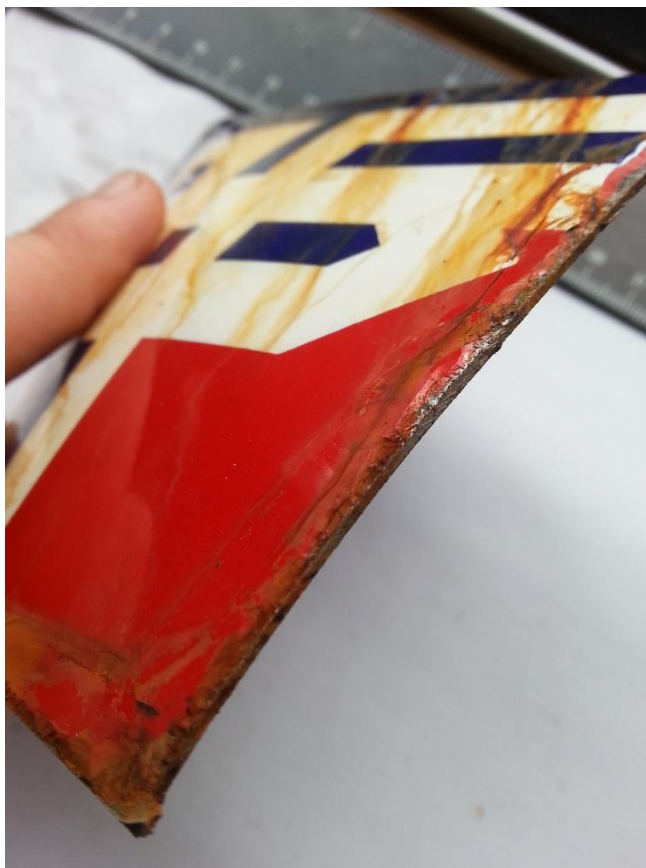
Vzorek č. 1:



Obr. č. 31 – Vzorek č. 1 po korozní zkoušce



Obr. č. 32 – Vzorek č. 1 po korozní zkoušce – smaltovaná hrana



Obr. č. 33 – Vzorek č. 1 po korozní zkoušce – hrana porušená řezem



Obr. č. 34 – Vzorek č. 1 po korozní zkoušce – smaltovaná hrana

Vzorek č. 2:



Obr. č. 35 – Vzorek č. 2 po korozní zkoušce



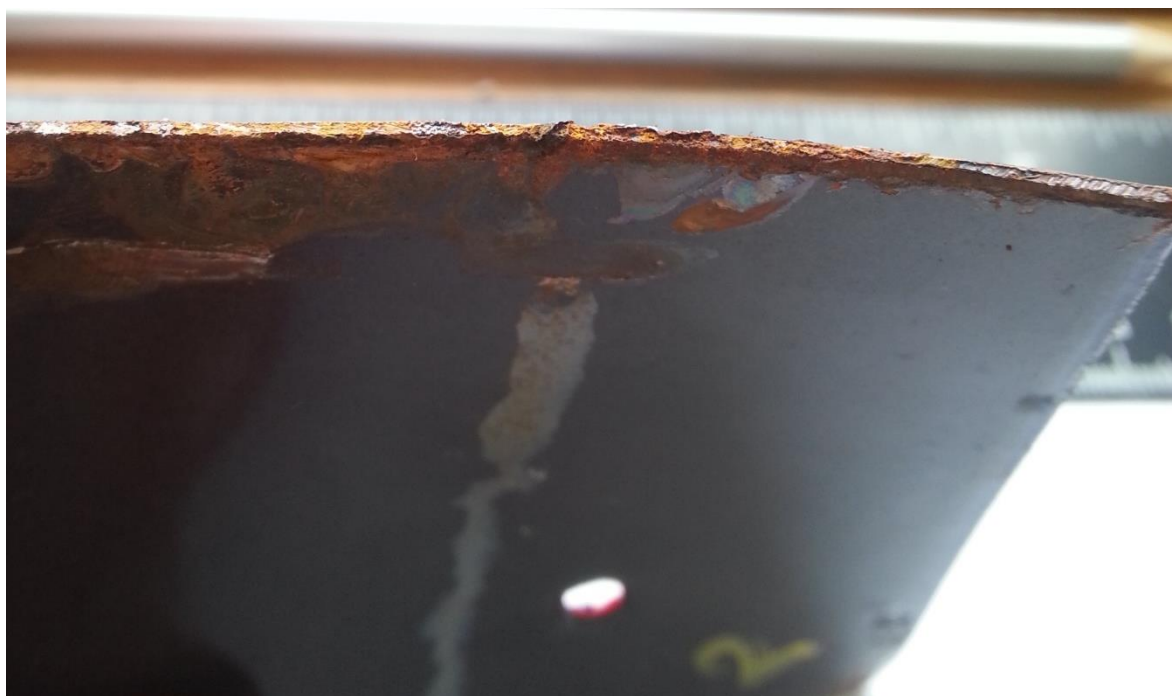
Obr. č. 36 – Vzorek č. 2 po korozní zkoušce – hrana porušená řezem



Obr. č. 37 – Vzorek č. 2 po korozní zkoušce – hrana porušená řezem



Obr. č. 38 – Vzorek č. 2 po korozní zkoušce – smaltovaná hrana



Obr. č. 39 – Vzorek č. 2 po korozní zkoušce – smaltovaná hrana (pohled z vnitřní strany vzorku)

Vzorek č. 3:



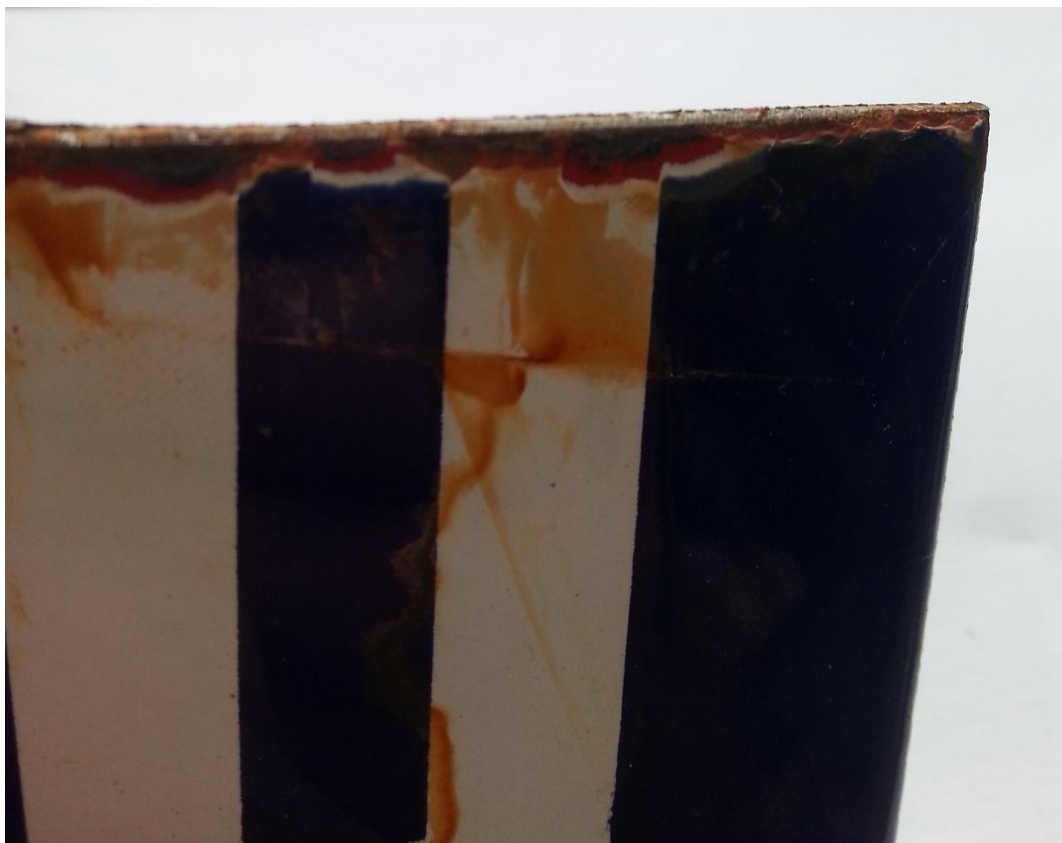
Obr. č. 40 – Vzorek č. 3 po korozní zkoušce



Obr. č. 41 – Vzorek č. 3 po korozní zkoušce – hrana porušená řezem



Obr. č. 42 – Vzorek č. 3 po korozní zkoušce – hrana porušená řezem



Obr. č. 43 – Vzorek č. 3 po korozní zkoušce – hrana porušená řezem



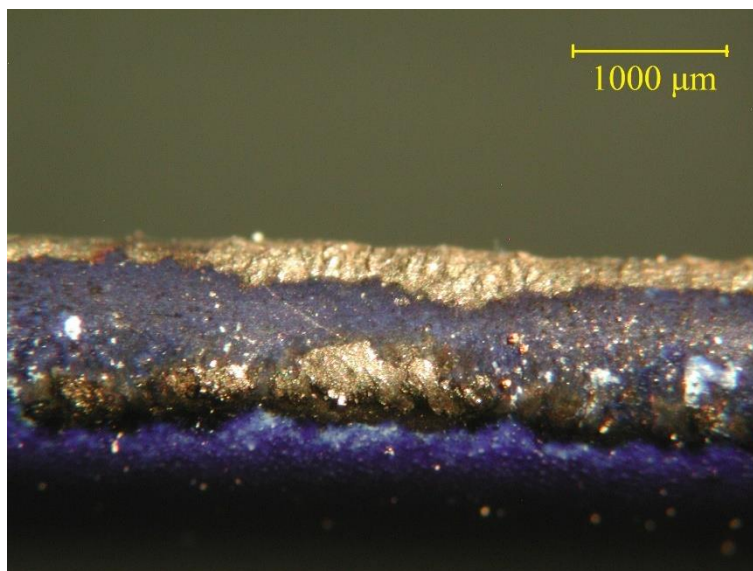
Obr. č. 44 – Vzorek č. 3 po korozní zkoušce – smaltovaná hrana

Na obr. 31 až 44 můžeme vidět stupeň koroze u jednotlivých vzorků po korozní zkoušce. Hrany, které byly porušeny řezem při řezání vzorků, mají stupeň koroze o něco vyšší než smaltované hrany, které zůstaly neporušeny. Na všech vzorcích jsou k vidění jak korozní produkty z hran stékaly po ploše vzorků. Nejlépe, co se odolnosti proti korozi týče, dopadl vzorek č. 2. Nejhuře pak vzorek č. 1.

9.6. Mikroskopická analýza povrchu

9.6.1. Mikroskopická analýza hrany

Vzorek č. 1:



Obr. č. 45 – Hrana porušená řezem před korozní zkouškou (zvětšeno 20x)



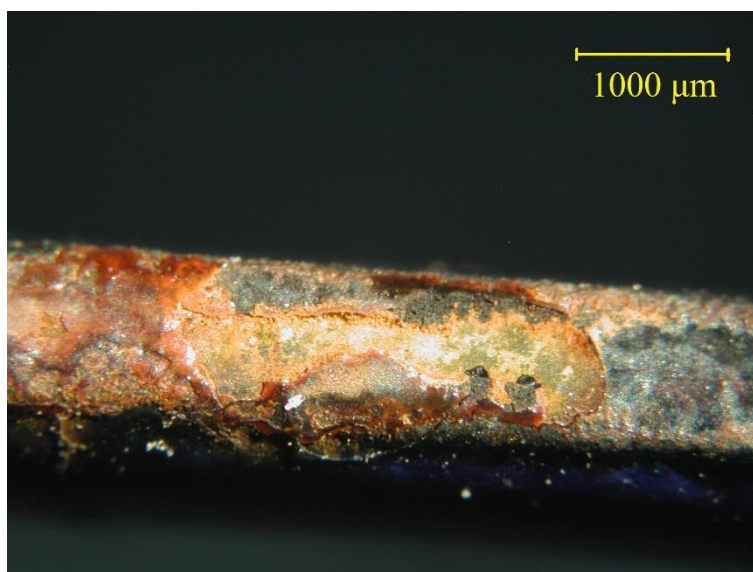
Obr. č. 46 – Hrana porušená řezem po korozní zkoušce (zvětšeno 20x)

U vzorku č. 1 je při mikroskopickém zvětšení vidět celkem vysoký stupeň koroze.

Vzorek č. 2:



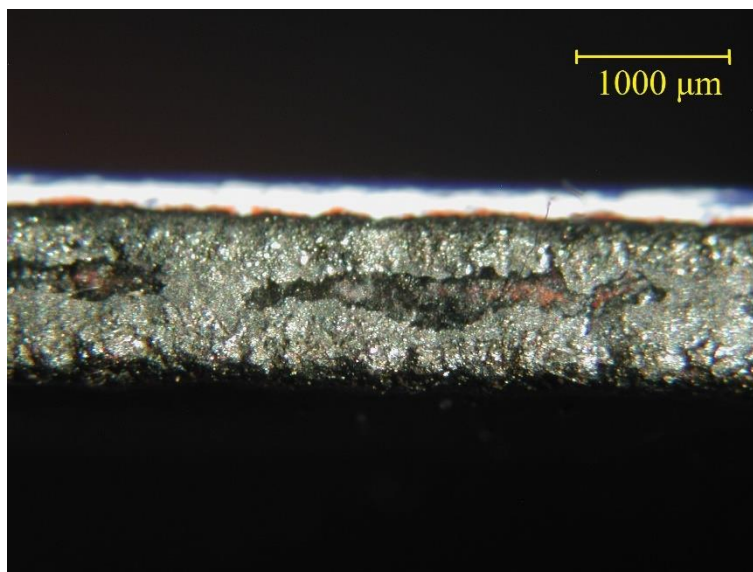
Obr. č. 47 – Hrana porušená řezem před korozní zkouškou (zvětšeno 20x)



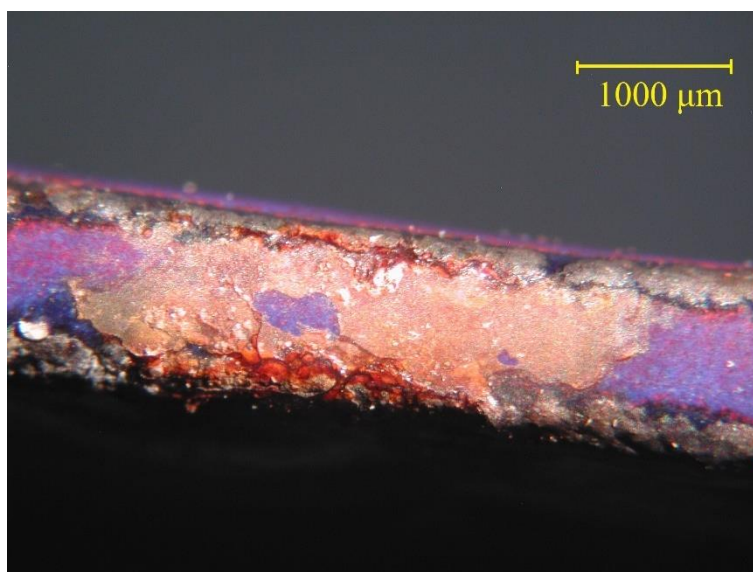
Obr. č. 48 – Hrana porušená řezem po korozní zkoušce (zvětšeno 20x)

Koroze u vzorku č. 2 není tak značná jako u vzorku č. 1.

Vzorek č. 3:



Obr. č. 49 – Hrana porušená řezem před korozní zkouškou (zvětšeno 20x)



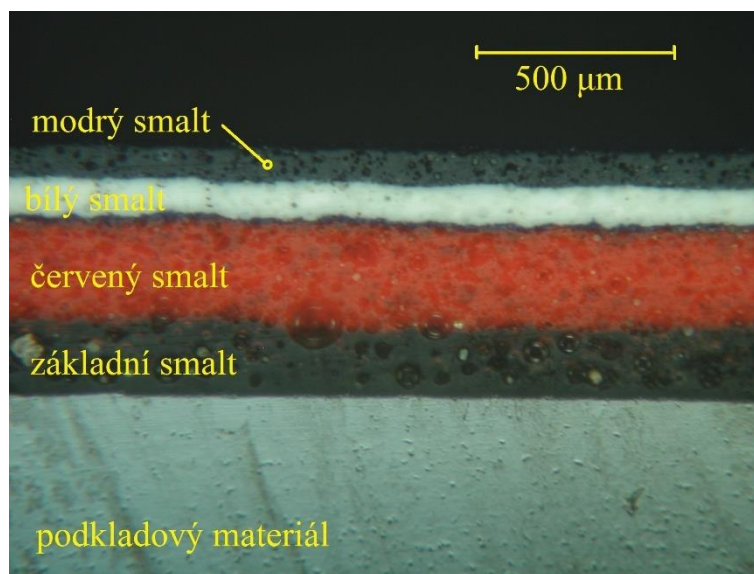
Obr. č. 50 – Hrana porušená řezem po korozní zkoušce (zvětšeno 20x)

U mikroskopické analýzy dopadl vzorek č. 3 nejlépe. Jeho stupeň koroze je nejmenší.

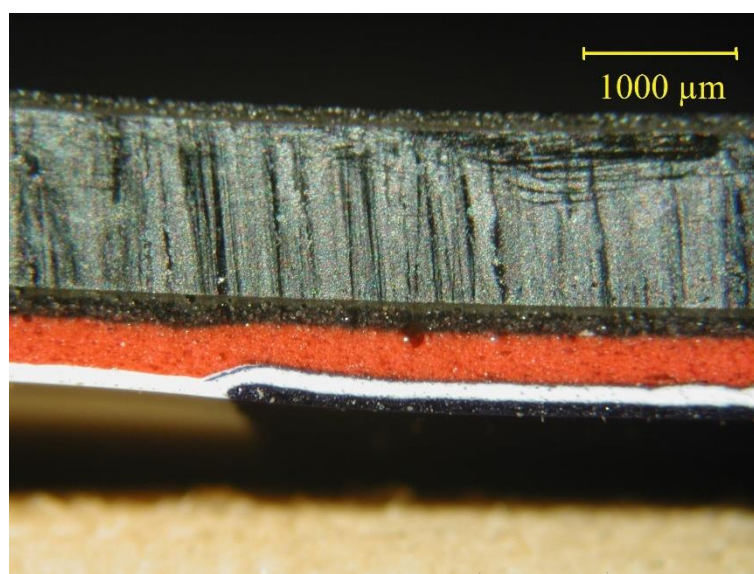
9.6.2. Mikroskopická analýza vrstev smaltu

Pro mikroskopickou analýzu vrstev smaltu jsem musel hrany vzorků na to určených obrousit a vyleštit, aby byly v mikroskopu vidět všechny vrstvy.

Vzorek č. 1:



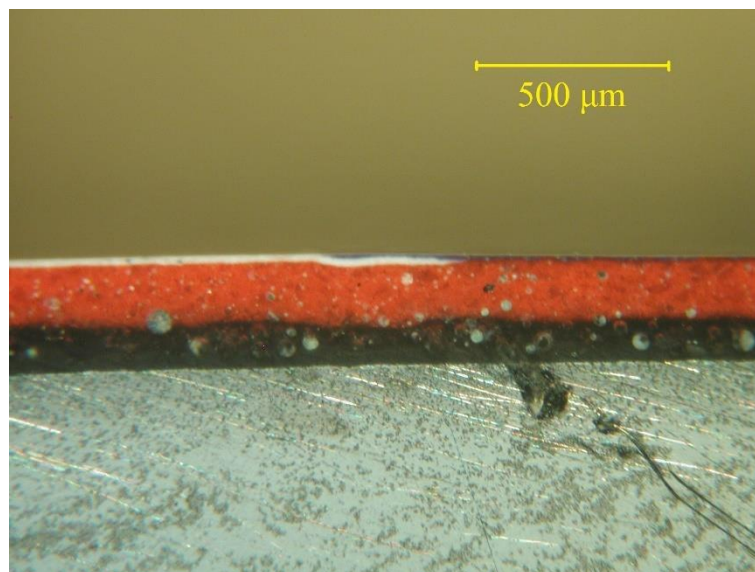
Obr. č. 51 – Mikroskopická analýza vrstev smaltu (zvětšeno 50x)



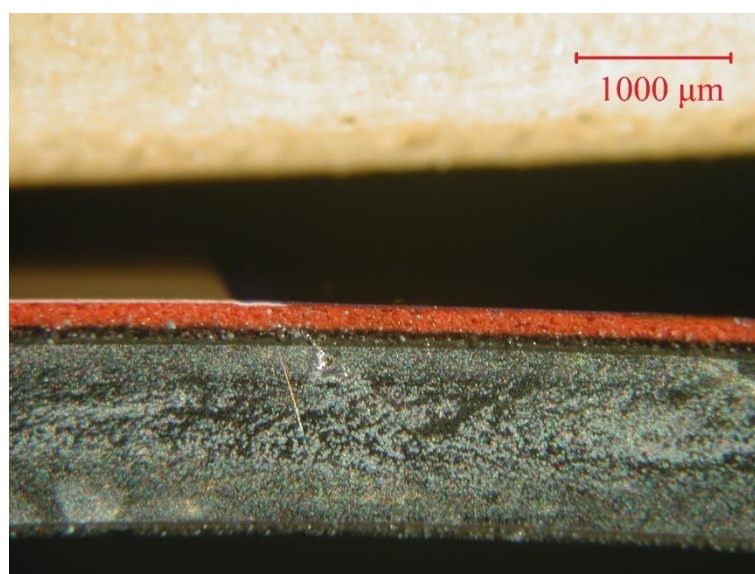
Obr. č. 52 – Mikroskopická analýza vrstev smaltu (zvětšeno 20x)

Na obr. č. 51 a 52 můžeme vidět jednotlivé vrstvy smaltů. Tloušťky smaltů se v některých místech výrazně liší.

Vzorek č. 2:



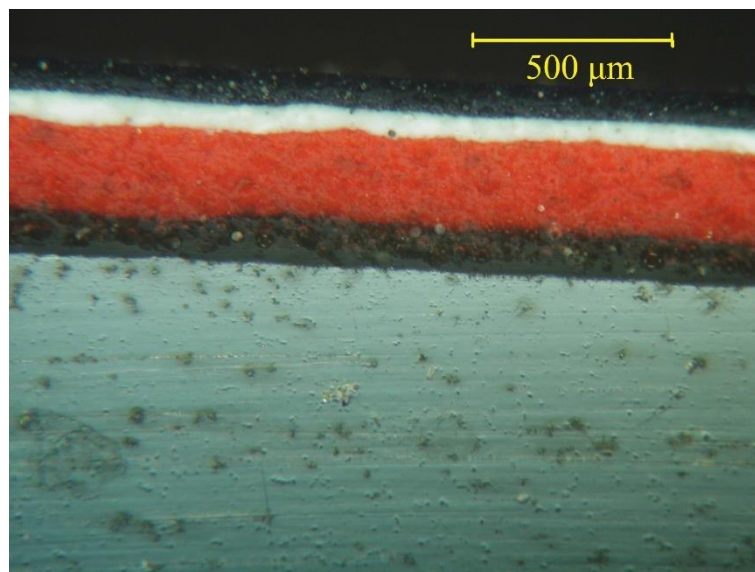
Obr. č. 53 – Mikroskopická analýza vrstev smaltu (zvětšeno 50x)



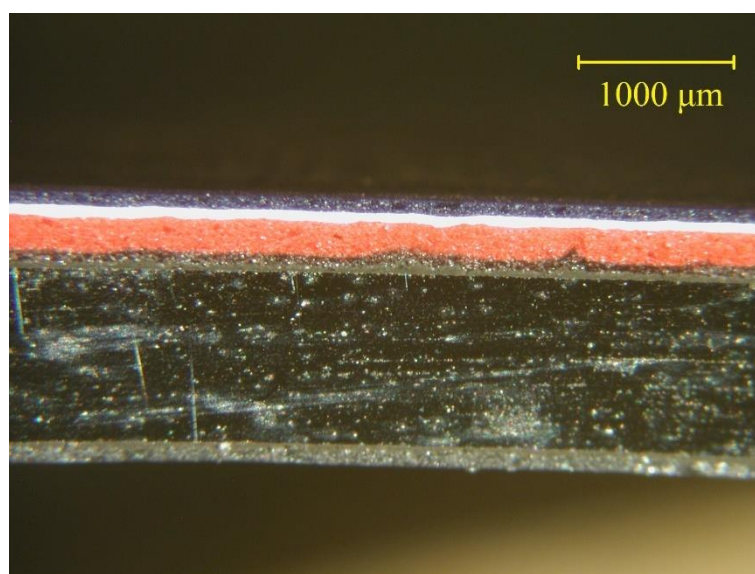
Obr. č. 54 – Mikroskopická analýza vrstev smaltu (zvětšeno 20x)

U vzorku č. 2 na obr. č. 53 a 54 vidíme, že tloušťka bílého a modrého smaltu je několikanásobně tenčí než tloušťka smaltu červeného. Za má za důsledek prosvítání červeného smaltu, proto se odstíny barev smaltů lišily od ostatních vzorků.

Vzorek č. 3:



Obr. č. 55 – Mikroskopická analýza vrstev smaltu (zvětšeno 50x)



Obr. č. 56 – Mikroskopická analýza vrstev smaltu (zvětšeno 20x)

Na obr. č. 55 a 56 vidíme, že vzorek č. 3 má asi nejrovnoměrnější tloušťky smaltů. Z vizuálního hlediska byl tento vzorek nejkvalitnější.

10 Závěr

Bakalářská práce se zabývá studiem změn vlastností sklokeramického povlaku v kontaktu s biologickým prostředím. V teoretické části byly prostudovány vlastnosti, použití a technologie výroby sklokeramických smaltových povlaků.

Jako zkušební vzorky pro experimentální část byly použity smaltované uliční cedule, na kterých byly provedeny experimentální práce. Mezi experimentální práce patřilo určení odstínů barev smaltů, měření tloušťky a drsnosti smaltů a zkouška odolnosti smaltů proti mechanickým nárazům. Všechna tato měření byla provedena jak před vložením do korozní komory, tak i po jejich vytáhnutí. Biologickým prostředím v korozní komoře byl fyziologický roztok NaCl, který na vzorky působil po dobu 15 dnů. Tato doba odpovídá cca 5ti letům ve skutečné atmosféře. Jednotlivé měření a zkoušky byly zapsány do tabulek a grafů, ze kterých byly potom vyhodnoceny.

Porovnáním odstínů barev smaltů před a po korozní zkoušce bylo zjištěno, že se odstíny nezměnily.

Průměrné tloušťky smaltů se před korozní zkouškou pohybovaly v rozmezí od 299,4 μm do 630,5 μm . Po korozní zkoušce se tyto hodnoty paradoxně zvýšily na 301,6 μm až 698,7 μm . Důvodem tohoto jevu byla pravděpodobně koroze podkladového materiálu a koroze skla, která narušila vnitřní strukturu smaltového povlaku.

Měření drsnosti smaltů ukázal, že se hodnoty před i po korozní zkoušce téměř nezměnily. Průměrné hodnoty R_a před korozní zkouškou se pohybovaly v rozmezí od 0,118 μm do 0,152 μm a R_z od 0,669 μm do 1,037 μm . Po korozní zkoušce se hodnoty změnily pouze v řádech 0,01 μm .

Pomocí zkoušky odolnosti proti mechanickým nárazům nastřelováním bylo zjištěno, že k viditelnému porušení a odprýsknutí smaltu došlo ve větší míře u vzorků po korozní zkoušce.

Z výsledků a fotodokumentace experimentálních prací je zřejmé, že koroze vzorků nastala z důvodu nekvalitní výroby smaltových povlaků.



Seznam použité literatury

- [1] MOHYLA, M.: *Technologie povrchových úprav kovů*. Učební texty VŠB – TU Ostrava, 2006. 3. vydání. 156 s. ISBN 80-248-1217-7.
- [2] PODJUKLOVÁ, J. a kol.: *Nové obzory v poznání vlastností sklokeramických smaltových povlaků*, VŠB-TU Ostrava, 2010, 135 s, ISBN 978–80–248–2339-3.
- [3] BOUŠE, V. a kol.: *Smalty a jejich použití v protikorozi ochraně*, SNTL, Praha, 1986, 216 s.
- [4] PODJUKLOVÁ, J.: *Studium vlastností systému kov – sklovitý smaltový povlak. Autoreferát habilitační práce*, VŠB – TU Ostrava, 2000. s. 44.
- [5] STRNAD, Z.; URBAN, Z.: *Bioaktivní keramika nahrazující kost. Neživé náhrady srůstající s živou tkání* [online]. 2000, 79, [cit. 2017-04-20]. Dostupný z WWW: <http://casopis.vesmir.cz/clanek/bioaktivni-sklokeramika-nahrazujici-kost>
- [6] *Lasak.cz* [online]. 2005 [cit. 2017-04-20]. Bio povrch. Dostupné z WWW: <https://www.lasak.cz/?t=impladent-sti-bio>.
- [7] *Darek.cz* [online]. 2017 [cit. 2017-05-13]. Smaltované cedule. Dostupné z WWW: <http://www.darek.cz/smaltovana-cedule-s-vlastnim-textem-400x200-mm-tribarevna-z104260/podobne-produkty/#>.
- [8] *Bombaytools.in* [online]. 2017 [cit. 2017-05-13]. Elcometer. Dostupné z WWW: <http://5.imimg.com/data5/OR/YK/MY-2771418/elcometer-a456-coating-thickness-meter-dft-gauge-500x500.png>.